

# Artificial Intelligence (AI) and health professions

Maurizio D'Amora<sup>1\*</sup>, Franco Ascolese<sup>2</sup>

1. già Direttore Generale Asl Napoli 3 Sud, già Direttore Dipartimento Medicina di Laboratorio Asl Napoli 1 Centro
2. Presidente Ordine Provinciale Interprovinciale dei Tecnici Sanitari di Radiologia Medica e delle Professioni Sanitarie Tecniche, della Riabilitazione e della Prevenzione di Napoli, Avellino, Benevento e Caserta

Correspondence: [damora\\_maurizio@libero.it](mailto:damora_maurizio@libero.it)

## KEYWORDS:

Artificial intelligence; health professions; machine learning; AI in medicine

## ABSTRACT

Artificial Intelligence (AI) is defined as the ability of a machine to “reason, learn and solve problems” by emulating human minds. Machine Learning (ML) is a subset of artificial intelligence that deals with creating systems that learn or improve performance based on the data they use. AI is revolutionizing all areas of human activities and also the healthcare world in all its areas: organizational, work, and care. The main aspects and different issues will be analyzed below, including for the different health professions with the specific applications already available today in an ever-evolving field. The Italian state currently recognizes 30 health professions, for the practice of which registration in the respective professional orders is mandatory. All health professions will be impacted by the introduction of AI in health care because the availability of data in health care has grown enormously as have the sources from which they come. The field in which the most progress has been made in terms of the use of artificial intelligence, as an aid in medicine, is currently the technical-diagnostic field and, in today's field of interest, for the professions of Nursing, Biomedical Laboratory Health Technician (BHLLT), Physiotherapist, Medical Radiology Health Technician (TSRM), Technical, Rehabilitation and Prevention Health Professions Technician (PSTRP) and partly the clinical one. In the latter area there are now several scientific evidences of their reliability, particularly in the oncology, respiratory and cardiology areas. After instructing a machine in interpreting images provided through X-rays, ultrasounds, CT scans, MRIs, electrocardiograms, and examinations from the analysis of biological tissue samples (liquid-laboratory- and histological-pathological anatomy-), today it is also possible to identify, with a good degree of reliability, cancer, cardiovascular, dermatological, and respiratory diseases. Another area on which much work is being done is related to prediction systems, which can identify possible diseases even before they occur. No less interesting is the use of artificial intelligence in the screening of numerous existing molecules with the aim of identifying the most promising ones to be subjected to clinical trials, thus reducing the time to transfer research results to clinical practice (translational medicine). Finally, the application of artificial intelligence in medical robotics is initiating a new phase of development that could enable more precise diagnostic examinations and remote surgical interventions, as well as provide personalized support in rehabilitation devices and advanced prosthetics. Advantages and risks of the application in medicine of artificial intelligence and its evolution: generative intelligence, were highlighted in this paper. One of the most important risks related to the use of artificial intelligence in medicine concerns the fact that the systems used have not been sufficiently tested and supported by sound scientific evidence. As robust clinical trials should be conducted as possible that methodologically involve multiple centers, hospitals, and institutes (multicenter) university and nonuniversity, and that evaluate the effects in a random (randomized) manner on an adequate statistically representative sample of the population being examined, starting from the beginning of the study and ending at its conclusion (prospective). In conclusion, artificial intelligence holds tremendous potential to revolutionize the healthcare industry, improving care, efficiency and even the patient experience in healthcare. It is critical, however, to use it responsibly, with an appropriate policy and oversight framework that can address risks and challenges, including legal ones. Finally, some applications of AI already being used in various health professions are described.

## INTRODUZIONE

L'AI (Intelligenza Artificiale) sta rivoluzionando tutti i settori delle attività umane ed anche il mondo sanitario in tutti i suoi ambiti. È preliminare però definire che cos'è e cosa si intende per intelligenza artificiale; essa viene definita [1] come la capacità di una macchina di “ragionare, apprendere e risolvere problemi” emulando le menti umane. La macchina deve poter analizzare ed assemblare insieme grandi quantità di dati mediante precise istruzioni (dovute ad algoritmi) che vengono apprese dalla stessa macchina in modo automatico. L'algoritmo è un concetto fondamentale dell'informatica, anzitutto perché è alla base della nozione teorica di calcolabilità: un problema è calcolabile quando è risolvibile mediante un algoritmo. L'algoritmo, inoltre, è un concetto cardine anche nella fase di programmazione e sviluppo di un software: acquisito

un problema da automatizzare, la programmazione costituisce essenzialmente la traduzione o codifica di un algoritmo per tale problema in un programma, scritto in un certo linguaggio informatico, che può essere quindi effettivamente eseguito da un calcolatore elettronico rappresentandone la logica di elaborazione. Si sottolinea tuttavia che una definizione del concetto di algoritmo, che sia formale e non tecnica, manca tuttora e si è pertanto costretti ad accontentarsi dell'idea intuitiva di algoritmo come una sequenza ordinata e finita di passi (operazioni od istruzioni) elementari che conduce ad un ben determinato risultato in un tempo finito.

## Cenni storici

Da molti anni si parla di intelligenza artificiale, almeno dal secondo dopoguerra. Essa ha una data di nascita ufficiale [2], il 1956, l'anno del famoso



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

seminario estivo tenutosi presso il Dartmouth College di Hanover, nel New Hampshire-USA-, durante il quale la nuova disciplina venne fondata programmaticamente a partire dalla raccolta dei contributi sviluppati negli anni precedenti ed in direzione delle potenzialità future. Questa data di nascita convenzionale, sulla quale vi è accordo unanime nella comunità scientifica, potrebbe far pensare che la questione delle origini potesse considerarsi definitivamente risolta. Quando si parla di storia dell'AI, tuttavia, non si comincia descrivendo gli sviluppi successivi al 1956 ma si fa riferimento anche alla cibernetica ed all'avvento dei primi calcolatori elettronici. Durante il convegno di Dartmouth ebbe un ruolo fondamentale il lavoro di Alan Mathison Turing che è stato un matematico, logico, crittografo e filosofo britannico, considerato uno dei padri dell'informatica e uno dei più grandi matematici del XX secolo. Già nel 1936 Alan Turing aveva posto le basi per i concetti di calcolabilità, computabilità e per la macchina di Turing. Nel 1950 lo stesso Turing scrisse un articolo intitolato "Computing machinery and intelligence", in cui proponeva quello che sarebbe divenuto noto come test di Turing. Secondo il test una macchina poteva essere considerata intelligente se il suo comportamento, osservato da un essere umano, fosse considerato indistinguibile da quello di una persona. Grazie al lavoro di Turing, il tema dell'AI ricevette una forte attenzione da parte della comunità scientifica e nacquero diversi approcci. I principali furono la logica matematica, per la dimostrazione di teoremi e l'inferenza di nuova conoscenza, e le reti neurali. Nell'ultimo decennio la tecnologia di queste reti è stata implementata ed oggi vengono applicate nell'ambito del Deep Learning, un ramo del Machine Learning. Si citano inoltre Charles Babbage e la sua macchina analitica, Gottfried Wilhelm Leibniz ed il suo progetto di meccanizzare la ragione, risalendo fino alla macchina logica di Raimondo Lullo ed agli automi semoventi di Erone di Alessandria\* (I sec. d.C.), uno dei più grandi ingegneri e scienziati dell'antichità a cui si assegna la paternità dei robot. Il termine robot deriva dalla lingua ceca "robota", ovvero lavoro obbligatorio. Il significato originale del termine era quello di designare un lavoratore meccanico che esegue un compito ripetitivo e monotono sotto la supervisione di un essere umano. Con il tempo, il significato del termine si è evoluto, fino ad assumere l'accezione odierna di una macchina in grado di eseguire compiti autonomamente e di adattarsi alle situazioni in modo flessibile. Questi precursori dei moderni robot e delle scenografie teatrali sono stati il fondamento della ricerca che va da Leonardo da Vinci fino ai moderni robot ed ai congegni meccanici automatici. Leonardo da Vinci

è stato uno dei più grandi ingegneri e scienziati di tutti i tempi, celebre per i suoi disegni e progetti precursori dei moderni meccanismi e macchine. La sua influenza è stata determinante nella storia della tecnologia e dell'ingegneria, e rappresenta una importante fonte di ispirazione per chiunque sia interessato all'ingegneria meccanica. Sarebbe però fuorviante tentare di risolvere la questione considerando tutto ciò che avvenne prima del 1956 come un precorrimiento dell'intelligenza artificiale. In primo luogo perché una parte della ricerca informatica degli anni Cinquanta del XX secolo è, a buon diritto, aspetto essenziale e fondante dell'intelligenza artificiale. In secondo luogo perché considerare Lullo o Leibniz precursori dell'intelligenza artificiale e Babbage padre dell'informatica significherebbe attualizzare impropriamente tali figure.

Intelligenza Artificiale (AI) e Machine Learning (ML)

Negli ultimi anni si è ripreso a parlare di AI in seguito alla produzione di un'enorme mole di dati ed alla successiva disponibilità di computer in grado di elaborarli. A questo, poi, aggiungiamo anche l'evoluzione dei software di intelligenza artificiale che, da semplici sistemi tradizionali basati su comportamenti prevedibili, cioè input forniti dall'operatore, oggi si sono evoluti grazie al machine learning. Il Machine Learning (ML) è un sottoinsieme dell'intelligenza artificiale (AI) che si occupa di creare sistemi che apprendono o migliorano le performance in base ai dati che utilizzano [3]. Intelligenza artificiale è un termine generico e si riferisce a sistemi o macchine che imitano l'intelligenza umana. I termini machine learning ed AI vengono spesso utilizzati insieme ed in modo interscambiabile, ma non hanno lo stesso significato. Un'importante distinzione è che, sebbene tutto ciò che riguarda il machine learning rientra nell'intelligenza artificiale, essa non include solo il machine learning. Queste tecniche addestrano i computer che imparano continuamente dai dati che gli vengono forniti (autoapprendimento). La disponibilità al grande pubblico di sistemi di intelligenza artificiale, come ad esempio ChatGPT, Microsoft Copilot, ChatbotAI e Textcortex, ha contribuito a diffondere questo argomento che prima era dedicato ai soli addetti ai lavori. Il machine learning si suddivide in tipi e per essi ci sono due approcci all'apprendimento e gli algoritmi sono i motori che alimentano il machine learning. I due tipi principali di algoritmi di machine learning attualmente utilizzati sono: machine learning supervisionato ed apprendimento non supervisionato [4]. La differenza tra queste due tipi viene definita dal modo in cui ciascun algoritmo apprende i dati per fare previsioni. Per quanto

\*1589 - DI HERONE Alessandrino DE GLI AUTOMATI - Ovvero macchine semoventi, libri due.

Tradotti dal Greco da Bernardino Baldi Abate di Guastalla. Stampato nel 1589 da Girolamo Porro, Venezia. Oggi è disponibile la ristampa anastatica.



concerne il machine learning supervisionato occorre sottolineare che i suoi algoritmi sono i più utilizzati. Con questo modello, un data scientist agisce da guida ed insegna all'algoritmo i risultati da generare. Esattamente come un bambino impara ad identificare i frutti memorizzandoli in un libro illustrato, nel machine learning supervisionato l'algoritmo apprende da un set di dati già etichettato e con un output predefinito. Gli algoritmi di regressione lineare e logistica, di classificazione multiclasse e le macchine a vettori di supporto sono alcuni esempi di machine learning supervisionato. Esiste anche quello semi-supervisionato, ambito nel quale la ricerca è molto attiva per individuare strumenti utili alla guida dei robot operatori. Il machine learning non supervisionato utilizza un approccio più indipendente, in cui un computer impara ad identificare processi e schemi complessi senza la guida attenta e costante di una persona. Il machine learning non supervisionato implica una formazione basata su dati privi di etichette e per i quali non è stato definito un output specifico. Per continuare ad utilizzare l'analogia precedente, il machine learning non supervisionato è simile ad un bambino che impara ad identificare i frutti osservando i colori e gli schemi, anziché memorizzando i nomi con l'aiuto di un insegnante. Il bambino cercherà le somiglianze tra le immagini e le suddividerà in gruppi, assegnando a ciascun gruppo la nuova etichetta corrispondente. Gli algoritmi di clustering k-means, l'analisi di componenti principali ed indipendenti e le regole di associazione sono esempi di machine learning non supervisionato. Gli algoritmi di clustering permettono di raggruppare i dati in base alle loro caratteristiche intrinseche. Esistono molti algoritmi che sono stati sviluppati negli anni. Il K-Means è quello sicuramente più popolare e semplice. Più complesso del machine learning, perché costituito da milioni di strati, è il deep learning, punto di partenza per i convolutional neural networks (CNNs), presi in considerazione per la diagnosi basata su immagini mediche, senza l'esigenza della presenza dell'uomo. Nell'apprendimento automatico, una rete neurale convoluzionale (CNN o ConvNet dall'inglese convolutional neural network) è un tipo di rete neurale artificiale feed-forward (controllo in base alle pervisioni) in cui il pattern di connettività tra i neuroni è ispirato dall'organizzazione della corteccia visiva animale, i cui neuroni individuali sono disposti in maniera tale da rispondere alle regioni di sovrapposizione che tassellano il campo visivo. Le reti convoluzionali sono ispirate da processi biologici e sono variazioni di percettori multistrato progettate per usare al minimo la pre-elaborazione. Hanno diverse applicazioni nel riconoscimento di immagini e video, nei sistemi di raccomandazione, nell'elaborazione del linguaggio naturale e, recentemente, in bioinformatica. Si tratta di algoritmi composti da una serie di griglie sovrapposte, che possono riconoscere alcune caratteristiche

delle immagini mediche e collegarle a particolari patologie. Il natural language processing, poi, può aiutare a dare senso ad una serie di informazioni di natura clinica e radiologica. L'applicazione caratteristica per questo algoritmo è la scansione di grandi archivi d'informazione, che l'uomo impiegherebbe mesi a leggere e selezionare. Negli ultimi anni sono stati condotti studi che rendono conto di percentuali di accuratezza per i CNNs vicino al 100, o capaci di stabilirne l'equivalenza o meno all'azione umana. Tuttavia, un CNNs necessita di validazione su una coorte interna ed una esterna per poter essere applicato alla pratica clinica e sono pochi gli studi pubblicati sino ad oggi che tengono conto di questo fatto. Gli studi già realizzati, tuttavia, danno buone speranze anche sull'utilità del deep learning, in grado di distinguere tra lateralità, parti del corpo ed altro ancora. Sono tante le patologie muscoloscheletriche che, secondo la letteratura, possono essere individuate dall'uno o dall'altro tipo di algoritmo, partendo dai tumori ossei per arrivare alle anomalie dello sviluppo. Le applicazioni possibili vanno poi dalla diagnosi su immagine radiografica, alla progettazione di un intervento ortopedico di impianto protesico, senza dimenticare gli algoritmi predittivi, che consentirebbero di identificare il percorso di cura migliore per ogni paziente, tanto dal punto di vista riabilitativo, quanto per identificare i soggetti a maggior rischio di sviluppare complicanze postoperatorie e così via. L'intelligenza artificiale può inoltre essere utile per allenarsi nelle capacità chirurgiche, quindi anche a livello della formazione. La tecnologia sembra quindi già pronta, ma non è così. Il primo limite da considerare riguarda la trasferibilità di un algoritmo a strutture differenti da quella in cui è stato sviluppato: ciò sottende la possibile differenza di macchinari diagnostici utilizzati in varie strutture, ma anche la tipologia di popolazione trattata e così via.

L'importanza dell'intelligenza artificiale in sanità L'AI, come già accennato, sta rivoluzionando il mondo sanitario in tutti i suoi ambiti: organizzativi, lavorativi ed assistenziali. Si analizzeranno di seguito i principali aspetti e le varie problematiche anche per le diverse professioni sanitarie con le relative applicazioni già oggi disponibili in un campo in continua evoluzione. Lo Stato italiano riconosce attualmente 30 professioni sanitarie per l'esercizio delle quali è obbligatoria l'iscrizione ai rispettivi Ordini professionali. Si tratta di circa 1.500.000 professionisti che operano in strutture pubbliche e private. Nel sistema sanitario italiano operano anche le Arti Ausiliarie delle professioni sanitarie e gli Operatori di interesse sanitario. Le professioni sanitarie riconosciute in Italia dal Ministero della salute [5] (l'ultimo aggiornamento è stato pubblicato il 15 febbraio 2023) sono riportate successivamente ed analiticamente con i rispettivi principali riferimenti normativi.





PROFESSIONI SANITARIE	
Professione	Principali riferimenti normativi
Farmacista	D. Lgs. 08.08.1991, n. 258 (G.U. 16.08.1991, n. 191)
Medico- chirurgo	D. Lgs. 17.08.1999, n. 368 (G.U. 23.10.1999, n. 250, S.O.)
Odontoiatra	L. 24.07.1985, n. 409 (G.U.13.08.195, n. 190, S.O.)
Veterinario	L. 08.11.1984, n. 750 (G.U. 10.11.1984, n. 310)
Biologo	L. 24.05.1967, n. 396 L. 11.01.2018, n.3, art. 9 - (G.U. 31.01.2018, n. 25) Decreto 23/03/2018, Ordinamento della professione di biologo (G.U. 06/06/2018, n. 129)
Fisico	L. 11.01.2018, n. 3, art. 8 - (G.U. 31.01.2018, n. 25) Decreto 23/03/2018, Ordinamento delle professioni di chimico e fisico (G.U. 05/06/2018, n. 128)
Chimico	R. D. 1.03.1928, n. 842 L. 11.01.2018, n. 3, art. 8 - (G.U. 31.01.2018, n. 25) Decreto 23/03/2018, Ordinamento delle professioni di chimico e fisico (G.U. 05/06/2018, n. 128)
Psicologo	L. 18.02.1989, n. 56 - (G.U. 24.02.1989, n.46) L. 11.01.2018, n.3, art. 9 - (G.U. 31.01.2018, n. 25) Decreto 23/03/2018, Ordinamento della professione di psicologo ( G.U. 4/06/2018, n. 127)
Altri riferimenti normativi:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• T.U. delle leggi sanitarie del 1934</li> <li>• D. Lgs. C.P.S. 13.09.1946 e s.m.i.</li> <li>• D.M. 16.03.2007, Determinazione delle classi di laurea magistrale, pubblicato nella G. U. 09.07.2007 n.155</li> <li>• Direttiva comunitaria 2005/36 CE e s.m.i</li> <li>• L. 1 febbraio 2006, n. 43</li> <li>• D. Lgs. 09.11.2007, n. 206 e s.m.i.</li> <li>• Legge 11 gennaio 2018, n. 3</li> </ul>	

PROFESSIONI SANITARIE INFERMIERISTICHE	
Professione	Principali riferimenti normativi
Infermiere	D. M. 14.09.1994, n. 739 (G.U. 09.01.1995, n. 6) L. 18.12.1980, n. 905 (G.U. 31.12.1980, n. 356)
Infermiere Pediatrico	D. M. 17.01.1997, n. 70 (G.U. 27.03.1997, n. 72)

PROFESSIONE SANITARIA OSTETRICA	
Professione	Principali riferimenti normativi
Ostetrica /o	D. M. 14.09.1994, n. 740 (G.U. 09.01.1995, n. 6)
	L. 13.06.1985, n. 296 (G.U. 22.06.1985, n. 146)



<b>PROFESSIONI TECNICO SANITARIE</b>	
<b>Professione</b>	<b>Principali riferimenti normativi</b>
Area Tecnico - diagnostica	
Tecnico Sanitario di Radiologia Medica (TSRM)	D. M. 14.09.1994, n. 746 (G.U. 09.01.1995, n. 6)
Tecnico Audiometrista	D. M. 14.09.1994, n. 667 (G.U. 03.12.1994, n. 283)
Tecnico Sanitario di Laboratorio Biomedico (TSLB)	D. M. 14.09.1994, n. 745 (G.U. 09.01.1995, n. 6)
Tecnico di Neurofisiopatologia	D. M. 15.03.1995, n. 183 (G.U. 20.05.1995, n. 116)
Area Tecnico - assistenziale	
Tecnico Ortopedico	D.M. 14.09.1994, n. 665 (G.U. 03.12.1994, n. 283)
Tecnico Audioprotesista	D. M. 14.09.1994, n. 668 (G.U. 03.12.1994, n. 283)
Tecnico della Fisiopatologia Cardiocircolatoria e Perfusionamento Cardiovascolare	D. M. 27.07.1998, n. 316 (G.U. 01.09.1998, n. 203)
Igienista dentale	D. M. 15.03.1999, n. 137 (G.U. 18.05.1999, n. 114)
Dietista	D. M. 14.09.1994, n. 744 (G.U. 09.01.1995, n. 6)

<b>PROFESSIONI SANITARIE DELLA RIABILITAZIONE</b>	
<b>Professione</b>	<b>Principali riferimenti normativi</b>
Podologo	D. M. 14.09.1994, n. 666 (G.U. 03.12.1994, n. 283)
Fisioterapista	D. M. 14.09.1994, n. 741 (G.U. 09.01.1995, n. 6)
Logopedista	D. M. 14.09.1994, n. 742 (G.U. 09.01.1995, n. 6)
Ortottista - Assistente di Oftalmologia	D. M. 14.09.1994, n. 743 (G.U. 09.01.1995, n. 6)
Terapista della Neuro e Psicomotricità dell'Età Evolutiva	D. M. 17.01.1997, n. 56 (G.U. 14.03.1997, n. 61)
Tecnico Riabilitazione Psichiatrica	D. M. 29.03.2001, n.182 (G.U. 19.05.2001, n.115)
Terapista Occupazionale	D. M. 17.01.1997, n. 136 (G.U. 25.05.1997, n. 119)
Educatore Professionale	D. M. 08.10.1998, n.520 (G.U. 28.04.1999, N. 98)

<b>OPERATORE DI INTERESSE SANITARIO</b>	
<b>Profilo professionale</b>	<b>Riferimenti normativi</b>
Massofisioterapista	Legge 19 maggio 1971, n. 403, art.1, abrogato dall'art.1, comma 542 della Legge 30 dicembre 2018, n. 145 Legge 1 febbraio 2006 n. 43, comma 2, art. 1
Operatore socio-sanitario (OSS)	Acc. Stato - Regioni 22.02.2001 (G.U. 19.04.2001, n. 91)
Assistente di Studio Odontoiatrico	Acc. Stato -Regioni 7.10.2022 recepito D.P.C.M. 09.03.2022 (G.U. 03.05.2022, n. 102)





PROFESSIONI SANITARIE DELLA PREVENZIONE	
Professione	Principali riferimenti normativi
Tecnico della Prevenzione nell'Ambiente e nei luoghi di lavoro (TPAL)	D. M. 17.01.1997, n. 58 (G.U. 14.03.1997, n. 61)
Assistente Sanitario (AS)	D. M. 17.01.1997, n. 69 (G.U. 27.03.1997, n. 72)
Altri riferimenti normativi:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• D. Lgs. C.P.S. 13.09.1946 e s.m.i.</li> <li>• Art. 6, comma 3, D. Lgs 30.12.1992, n. 502 e successive modifiche ed integrazioni</li> <li>• L. 10.08.2000, n. 251</li> <li>• L. 26.02.1999, n. 42</li> <li>• L. 08.01.2002, n.1</li> <li>• D.M. 29.03.2001, Definizione delle figure professionali, ecc., pubblicato nella G. U. 23.05.2001, n. 118</li> <li>• L. 1 febbraio 2006, n. 43</li> <li>• D. M. 19.02.2009, Determinazione delle classi dei corsi di laurea per le professioni sanitarie, pubblicato nella G.U. 25.05.2009, n.119</li> <li>• Direttiva comunitaria 2005/36 CE e s.m.i.</li> <li>• D. Lgs. 09.11.2007, n. 206 e s.m.i.</li> <li>• L. 11 gennaio 2018, n. 3</li> </ul>	

ARTI AUSILIARIE DELLE PROFESSIONI SANITARIE	
Profilo professionale	Riferimenti normativi
Massaggiatore capo bagnino stabilimenti idroterapici	R. D.31.05.1928, n. 1334, art. 1
Ottico	R. D.31.05.1928, n. 1334, art. 12
Odontotecnico	R. D.31.05.1928, n. 1334, art. 11
Puericultrice	L. 19 luglio 1940, n. 1098
Altri riferimenti normativi:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• D. M. 28.10.1992, pubblicato nella G.U. 11.11.1992, n. 266;</li> <li>• D. M. 23.04.1992, pubblicato nella G.U. 18.06.1992, n. 142</li> </ul>	

Tutte le professioni sanitarie sono e saranno sempre più impattate dall'introduzione dell'AI in sanità [6,7]. La disponibilità di dati in ambito sanitario è cresciuta enormemente così come le fonti da cui essi provengono. Accanto ai dati tradizionali "strutturati", rappresentabili in righe e colonne come avviene con i fogli di Excel o con i principali database (es. cartelle cliniche, Medline, linee guida e database biomolecolari e genetici) sono sempre più disponibili dati non strutturati (come testi, immagini, suoni, sensori, dispositivi indossabili come magliette, braccialetti, orologi intelligenti, conversazioni provenienti dai social media) e si stima addirittura che circa l'80% dei dati generati quotidianamente non sia strutturato. Gli algoritmi di intelligenza artificiale in ambito medico sono usati per interpretare questa enorme mole di dati e per identificare possibili relazioni di causa-effetto tra i dati stessi e le patologie di cui un paziente può soffrire [9]. L'intelligenza artificiale (AI) sta trasformando anche la ricerca clinica, rivoluzionando la generazione, sintesi ed implementazione delle

evidenze scientifiche. Grazie all'AI, i processi di pianificazione, produzione ed analisi delle evidenze diventano più efficienti, accelerando il progresso scientifico. Tuttavia, per sfruttarne appieno il potenziale, è fondamentale comprendere le opportunità, i limiti e le implicazioni etiche di queste tecnologie che tratteremo di seguito.

### **L'intelligenza artificiale in medicina dove può essere applicata?**

Il campo nel quale si sono fatti più progressi in termini di utilizzo dell'intelligenza artificiale come supporto in medicina è attualmente quello tecnico-diagnostico [10,11] per le professioni di medici, biologi, chimici, farmacisti e di Infermiere, Tecnico Sanitario di Laboratorio Biomedico-TSLB-, Fisioterapista, Tecnico Sanitario di Radiologia Medica-TSRM-, Tecnici delle professioni sanitarie tecniche, della riabilitazione e della prevenzione-PSTRP- ed in parte quello clinico. In questo ultimo settore esistono oggi diverse evidenze scientifiche della loro affidabilità, in particolare



nell'area oncologica, respiratoria e cardiologica. Dopo aver istruito una macchina nell'interpretare immagini fornite tramite radiografie, ecografie, TAC, RMN, elettrocardiogrammi, ecocardiogrammi, elettroencefalogrammi, esami provenienti dall'analisi di campioni di tessuti biologici (liquidi- laboratorio- ed istologici-anatomia patologica-), oggi è anche possibile identificare, con un buon grado di affidabilità, patologie tumorali, cardiovascolari, dermatologiche e respiratorie [12]. Un'altra area sulla quale si sta lavorando intensamente è quella legata ai sistemi di predizione, in grado di identificare possibili patologie ancora prima che queste si manifestino. Ad esempio, grazie all'analisi degli elettrocardiogrammi ed alla storia clinica del paziente è possibile predire se un paziente sia o meno a rischio di sviluppare patologie cardiovascolari come fibrillazione atriale, scompenso cardiaco, ictus. Strumenti simili permettono ad esempio di predire con una accuratezza ed in anticipo (stimato fino a 6 anni) lo sviluppo di un tumore del polmone. Particolarmente interessanti sono i sistemi basati su intelligenza artificiale a supporto dei medici, in quanto in grado di suggerire il modo migliore di gestire o trattare dal punto di vista farmacologico la patologia di un paziente. Il suggerimento derivante dall'IA si basa sul mix delle linee guida disponibili al momento, sulle evidenze scientifiche provenienti dalle pubblicazioni sulle principali riviste scientifiche internazionali, sul decorso di pazienti con patologie simili e sulla storia clinica del paziente da curare [13]. Non meno interessante è l'uso dell'intelligenza artificiale nello screening di numerosissime molecole esistenti con lo scopo di individuare quelle più promettenti da sottoporre a sperimentazioni cliniche, riducendo in questo modo i tempi per trasferire i risultati della ricerca alla pratica clinica (cd. medicina traslazionale). L'applicazione dell'intelligenza artificiale anche nella robotica medica sta avviando una nuova fase di sviluppo che potrebbe consentire di eseguire esami diagnostici più precisi ed interventi chirurgici a distanza, nonché fornire un supporto personalizzato nei dispositivi di riabilitazione e nelle protesi avanzate come vedremo nel dettaglio successivamente. In America sono oltre 500 le applicazioni di intelligenza artificiale approvate dalla Food and Drug Administration (FDA cioè "Agenzia per gli alimenti e i medicinali") che è l'agenzia federale statunitense che si occupa della regolamentazione dei prodotti alimentari e farmaceutici, dipendente dal Dipartimento della salute e dei servizi umani degli Stati Uniti d'America. In Italia, invece, quasi tutte quelle disponibili sono ancora in fase di sperimentazione. Quali sono i rischi nell'uso dell'intelligenza artificiale in medicina? Uno dei rischi più importanti legato all'uso dell'intelligenza artificiale in medicina riguarda il fatto che i sistemi utilizzati non siano stati sufficientemente testati e supportati da valide prove scientifiche. Andrebbero condotti studi clinici

molto solidi che metodologicamente coinvolgano più centri, ospedali ed istituti (cd multicentrici) universitari ed ospedalieri e che valutino gli effetti in maniera casuale (randomizzati) su un adeguato campione statisticamente rappresentativo della popolazione presa in esame, a partire dall'inizio dello studio e fino alla sua conclusione (prospettici) [14]. Queste sono alcune considerazioni contenute in un documento (Linee guida sull'uso dei sistemi di intelligenza artificiale in ambito diagnostico) pubblicato dal Ministero della Salute nel 2022 che rappresenta uno strumento importante per chi sviluppa sistemi di IA e per chi (medici, operatori, pazienti, familiari, caregivers) poi li andrà ad utilizzare [11]. I sistemi di intelligenza artificiale, poi, andrebbero istruiti adeguatamente per evitare distorsioni di valutazione, definiti in gergo tecnico "bias". Il bias AI, chiamato anche bias machine learning o bias dell'algoritmo, si riferisce al verificarsi di risultati distorti dovuti a pregiudizi umani che distorcono i dati di training originali o l'algoritmo AI, portando a risultati distorti e risultati potenzialmente dannosi [15]. Nella letteratura scientifica, infatti, sono documentati casi di strumenti di intelligenza artificiale che hanno fallito nel rispondere a determinati quesiti (diagnostici, prognostici, predittivi) perché questa tipologia di pazienti per i quali si cercava la risposta non era adeguatamente rappresentata nel campione con il quale il sistema era stato istruito. Occorre tenere presente anche il fenomeno della "black box", cioè la propensione del sistema di intelligenza artificiale a fornire risposte "difficili" [16]. D'altra parte, non bisogna immaginare l'intelligenza artificiale come qualcosa che andrà a sostituire il medico e/o gli altri professionisti sanitari: gli strumenti saranno anche intelligenti, ma le decisioni finali rimangono allo specialista e/o al titolare dell'attività specifica per questioni etiche, deontologiche e di responsabilità. Infine, è necessario che anche a livello istituzionale questi strumenti siano regolamentati in accordo con la nuova normativa europea sui dispositivi medici (a cui questi strumenti in gran parte afferiscono), attraverso regole più stringenti, in termini di richiesta di prove di sicurezza ed efficacia, ai fini della loro approvazione ed introduzione sul mercato perché nel settore dell'assistenza sanitaria, l'intelligenza artificiale è utilizzabile per tutti gli ambiti e discipline, dalla risposta alle domande dei pazienti all'assistenza negli interventi chirurgici, fino allo sviluppo di nuovi farmaci [17,18,19,20,21]. In che modo l'AI può essere un vantaggio per l'assistenza sanitaria? Il mercato dell'AI, il cui valore nel 2021 si attestava a 11 miliardi di dollari, nel 2030 dovrebbe raggiungere un valore stimato in 187 miliardi di dollari. Questo aumento considerevole significa che probabilmente continueremo ad assistere a notevoli cambiamenti nel modo in cui operano i fornitori di servizi sanitari, gli ospedali, le aziende farmaceutiche e biotecnologiche e gli altri operatori



del settore sanitario. Migliori algoritmi di machine learning, un maggiore accesso ai dati, un hardware più economico e la disponibilità del 5G (acronimo di 5th Generation) hanno contribuito alla crescente applicazione dell'AI nel settore sanitario, accelerandone il ritmo del cambiamento. Il termine 5G indica l'insieme di tecnologie di telefonia mobile e cellulare, i cui standard definiscono la quinta generazione della telefonia mobile con una significativa evoluzione rispetto alla tecnologia 4G/IMT-Advanced e la sua distribuzione globale si è avviata nel 2019. Le tecnologie AI e ML sono in grado di setacciare enormi volumi di dati sanitari, dalle cartelle cliniche e dagli studi clinici alle informazioni genetiche, e di analizzarli molto più velocemente rispetto alle capacità dagli esseri umani. L'AI pertanto può svolgere un ruolo importante nello sviluppo dell'efficienza delle operazioni sanitarie e le organizzazioni sanitarie possono utilizzare l'AI per migliorare l'efficienza di tutti i tipi di processi, dalle attività di back-office alle cure dei pazienti [22,23,24,25]. Di seguito sono riportati alcuni esempi di come l'AI può essere utilizzata a beneficio del personale e dei pazienti.

- **Workflow amministrativo:**

gli operatori sanitari passano molto tempo a sbrigare pratiche burocratiche ed altre attività amministrative. L'AI e l'automazione possono aiutare a svolgere molte di queste attività banali, permettendo così ai professionisti di dedicare più tempo ad altre attività al contatto con i pazienti. Ad esempio, l'AI generativa (L'intelligenza artificiale generativa -o IA generativa- è un tipo di intelligenza artificiale che è in grado di generare testo, immagini, video, musica o altri media in risposta a delle richieste dette prompt) può aiutare i medici e gli operatori sanitari a prendere appunti ed a riassumere i contenuti, contribuendo alla massima precisione possibile nelle cartelle cliniche. L'AI, inoltre, potrebbe anche aiutare a codificare e condividere in modo accurato le informazioni tra i reparti e la fatturazione delle prestazioni.

- **Assistenti sanitari virtuali:**

uno studio scientifico ha rivelato che il 64% dei pazienti ha familiarità con l'AI e la utilizza per accedere giorno e notte alle risposte degli assistenti sanitari. Gli assistenti sanitari virtuali basati su AI (es. chatbot, app od altre interfacce con tecnologia AI) possono essere utilizzati per rispondere a domande relative a farmaci, inoltrare referti a medici o chirurghi ed aiutare i pazienti a prenotare una visita con un medico. Questo tipo di attività di routine può alleggerire il carico di lavoro del personale sanitario, che può quindi dedicare più tempo alla cura del paziente, ossia impegnarsi in situazioni in cui il giudizio umano e l'interazione sono più importanti.

- **Riduzione degli errori nei dosaggi:**

L'AI può essere utilizzata per aiutare ad individuare gli errori di autosomministrazione dei farmaci. Un esempio a tal proposito viene da uno studio pubblicato su Nature Medicine nel 2021 [26], che ha rilevato che fino al 70% dei pazienti non assume insulina secondo quanto prescritto. Uno strumento basato su AI posizionato dietro al paziente (molto simile a un router wi-fi) potrebbe essere utilizzato per segnalare errori nel modo in cui il paziente somministra una penna o un inalatore per insulina.

- **Robot per interventi chirurgici meno invasivi:**

i robot basati su AI potrebbero essere utilizzati per lavorare su organi e tessuti sensibili, ridurre la perdita di sangue e la necessità di trasfusioni, il rischio di infezioni ed anche alleviare il dolore post-operatorio. La robotica è uno dei settori tecnologici in cui la convergenza di Intelligenza Artificiale, 5G (la quinta generazione di telefonia cellulare), IoT (L'Internet of Things che descrive la rete di oggetti fisici, ossia le "things", che hanno sensori, software ed altre tecnologie integrate allo scopo di connettere e scambiare dati con altri dispositivi e sistemi su Internet) e materiali all'avanguardia, crea scenari non solo futuristici, ma anche adeguati alle nuove esigenze scaturite dalla pandemia da Covid-19 che in Italia ha contato 197000 morti tra cui 383 medici, 90 infermieri e 30 farmacisti ed il cui virus ormai fa parte dei patogeni respiratori presenti. La classica distinzione è tra robot umanoidi (come i famosi NAO e Pepper), robot antropomorfi, robot androidi e software robot.

Analizziamo adesso quali sono e come vengono impiegati i robot in ambito sanitario. La principale classificazione li suddivide in: modulari, di servizio, sociali, mobili ed autonomi. I robot modulari potenziano altri sistemi e possono essere configurati per l'esecuzione di più funzioni (es. PentaRob è un robot riabilitativo progettato per offrire cinque configurazioni e fino a 12 movimenti di allenamento degli arti superiori), i robot di servizio alleviano il carico quotidiano degli operatori sanitari attraverso la gestione di attività logistiche di routine; i robot sociali interagiscono direttamente con gli esseri umani; i robot mobili operano all'interno di strutture sanitarie o domestiche, si muovono lungo percorsi predefiniti e possono aiutare a mantenere gli operatori sanitari al sicuro durante la pandemia distanziandoli dai pazienti, riducendo al minimo il numero di interazioni interpersonali necessarie durante il trattamento ed abbassando, al contempo, il consumo complessivo di dispositivi di protezione individuale. I robot autonomi sono dotati di sistemi di rilevamento e misura della distanza a mezzo della luce (LiDAR), l'elaborazione visiva o le funzionalità di mappatura degli ambienti. I vantaggi dell'utilizzo



dei robot sono diversi, soprattutto in una società dalla popolazione sempre più numerosa ed anziana, in cui il distanziamento sociale rappresenta, al momento, la più efficace difesa contro la diffusione di malattie contagiose e letali. La robotica, infatti, può aiutare gli esseri umani a completare i compiti più rapidamente, con meno errori, e persino consentire loro di fare cose che altrimenti sarebbero impossibili; a maggior ragione in un ambito delicato come quello sanitario, dove è importante affiancare anche un risvolto umano di fondamentale importanza per il buon esito delle cure e dell'assistenza. Dobbiamo però annoverare delle questioni aperte per un partenariato essere umano-robot. Riportiamo di seguito alcuni esempi di innovazioni della robotica. Fondata nel 1992, Boston Dynamics è un'azienda americana nata dal Massachusetts Institute of Technology (MIT) che è una delle più importanti università di ricerca del mondo con sede a Cambridge, nel Massachusetts (Stati Uniti d'America). Essa commercializza robot umanoidi, ma soprattutto i robot con le gambe per cui è famosa. Boston Dynamics si ispira al mondo naturale per progettare robot con le stesse capacità di movimento di uomini e animali. L'obiettivo è che siano in grado di muoversi in luoghi in cui uomini e animali possono andare: scale, percorsi irregolari, passaggi stretti, ecc. Dotati di un'intelligenza atletica programmata da algoritmi di intelligenza artificiale, hanno un senso dell'equilibrio e della percezione con l'obiettivo di muoversi in modo completamente autonomo senza l'intervento degli utenti. Boston Dynamics è all'origine del robot umanoide Atlas e del famoso cane-robot Spot: un robot quadrupede mobile con molteplici doti. Spot è in grado di operare giorno e notte, di salire e scendere le scale, di camminare su terreni irregolari, di trasportare carichi fino a 14 kg e di operare ininterrottamente per 90 minuti. Completamente configurabile e robusto, sarà indispensabile in molti settori. La ditta Boston Dynamics ha anche messo a disposizione kit di strumenti open source per la robotica sanitaria, per consentire alle piattaforme robotiche mobili di sfruttare lo stesso stack di hardware e software sviluppato per aiutare gli operatori sanitari in prima linea. Uno stack è una struttura di dati utilizzata nell'informatica che opera in base al principio Last-In-First-Out (LIFO). Ciò significa che l'ultimo oggetto che metti nello stack è il primo che esci. È come una pila di piastre; non puoi rimuovere una piastra dal centro senza interrompere l'intero stack. Grazie a questa mossa strategica, che ricorda un po' quella di Apple quando rilasciò il CareKit in open source, si dovrebbe consentire alla comunità di sviluppatori di creare prodotti robotici innovativi per l'assistenza agli anziani, bisognosi sia di sostegno morale ed emotivo sia di aiuti meccanici. Clone Robotics, una società polacca, ha presentato Protoclone, il primo androide muscolo-scheletrico bipede, progettato per replicare con estrema

precisione la mobilità umana. Con oltre 200 gradi di libertà, 1.000 Myofibers e 500 sensori, il robot combina materiali rigidi e flessibili per simulare ossa, muscoli ed articolazioni, avvicinandosi sempre più alla biomeccanica reale. Ispirato alla fantascienza di Westworld (serie televisiva statunitense fantascientifica del 2016), Protoclone punta a rivoluzionare settori come medicina, assistenza, industria ed automazione, offrendo nuove possibilità nella riabilitazione e nelle attività quotidiane. Questo progresso segna un passo cruciale nella robotica bionica, ma solleva interrogativi sulla convivenza con macchine sempre più simili agli esseri umani. Protoclone è stato creato con un obiettivo preciso: avere un aspetto quanto più vicino possibile a quello umano, per questo la start up ha costruito un vero sistema muscolo-scheletrico identico al corpo umano, con tutte le 206 ossa del corpo umano e anche le vene ed un sistema neurale, come spiega l'azienda sul sito ufficiale. Il sistema vascolare del Clone viene presentato come la più avanzata tecnologia di alimentazione idraulica mai concepita. Questo sistema è in grado di erogare pressione idraulica all'intero apparato muscolare grazie ad una pompa elettrica da 500 watt, compatta come un cuore umano, capace di spingere liquidi ad una portata volumetrica di 40 SLPM (standard liter per minute) ed una pressione nominale di 100 psi (pound-force per square inch-unità di misura della pressione nel sistema anglosassone). Il sistema nervoso del Clone è stato progettato per garantire un controllo neurale immediato delle valvole e, di conseguenza, dei muscoli, avvalendosi esclusivamente di feedback propriocettivo e visivo. Il Clone è equipaggiato con quattro telecamere di profondità incassate nel cranio per la visione, settanta sensori inerziali che forniscono la propriocezione a livello articolare (angoli e velocità), e trecentoventi sensori di pressione per il feedback di forza muscolare. Le schede di controllo per le valvole e l'integrazione dei feedback sensoriali sono alloggiato lungo le vertebre e sono dotate di microcontrollori estremamente veloci che trasmettono e ricevono dati dalla GPU NVIDIA Jetson Thor per l'inferenza, situata nel cranio e che esegue Cybernet, il modello di base visuo-motorio del Clone. Un sistema complesso che permette movenze umane ed una precisione chirurgica della mano. Il sistema scheletrico del Clone imita le 206 ossa umane. Le articolazioni, complete di legamenti artificiali, permettono un'ampia mobilità grazie ad articolazioni-muscolo complesse. La spalla dispone di 20 gradi di libertà, mentre ogni vertebra offre ulteriori 6 gradi. La parte superiore del busto, senza le gambe, presenta 164 gradi di libertà totali. Gli scheletri sono realizzati in polimeri economici e durevoli. Il sistema muscolare utilizza la tecnologia Myofiber, introdotta nel 2021, che attiva scheletri naturali collegando unità muscolo-tendinee a punti precisi sulle ossa. Le miofibre, prodotte in unità monolitiche, eliminano i



cedimenti dei tendini. Queste fibre sintetiche, che reagiscono in meno di 50 ms, permettono una contrazione senza carico superiore al 30%, come quelli organici, ed ogni fibra di tre grammi può sollevare un peso di un chilo. Secondo i costruttori Myofiber rappresenta l'unica soluzione al mondo che combina efficacemente peso, potenza, velocità, rapporto forza-peso ed efficienza energetica. I piani futuri di Clone Robotics sono i seguenti: Protoclone è il fiore all'occhiello della società polacca che prevede inoltre di lanciare nel corso del 2025 ben 279 unità di Clone Alpha, una serie limitata di androidi. Destinati all'assistenza domestica, questi androidi non solo camminano ed interagiscono con gli esseri umani – descritti come "capaci di dialoghi spiritosi" sul sito ufficiale – ma possono anche gestire tutte le mansioni domestiche. Tra le attività che possono svolgere ci sono la preparazione di panini e bevande, l'imbandigione della tavola, il lavaggio dei piatti, la cura del bucato, la pulizia dei pavimenti, la gestione dell'inventario della cucina ed il controllo delle luci domestiche. Non poteva mancare un sistema di apprendimento automatico, chiamato Telekinesis, che permette di insegnare al robot nuove abilità tramite un'interfaccia intuitiva, aumentando così progressivamente le sue capacità. I preordini partiranno quest'anno, ma il prezzo non è stato ancora reso ufficiale. Ovviamente, tra tutte le tendenze e le derive possibili, bisogna governare il cambiamento ed indirizzare queste tecnologie nella giusta direzione della visione umano-centrica e di supporto, invece di rimanere prigionieri di esse; ciò deve avvenire anche attraverso una regolamentazione appropriata ed ancora tutta da definire, e tenendo nella massima considerazione i risvolti etici e giuridici (ad esempio in tema di responsabilità per danni derivanti anche da cyber attacchi), assolutamente non trascurabili. Al riguardo, il recente libro di Frank Pasquale, "New laws of robotics" edito il 27/10/2020 [27], indica alcune regole sulla robotica che integrano quelle famose di Isaac Asimov e si pongono a favore del partenariato essere umano-robot, per non sostituire i professionisti con la robotica e non dimenticare che il robot falsifica l'umanità, fingendo il sentimento ed imitando le emozioni umane, che, in realtà, i robot non possono provare, almeno sino ad oggi. In Giappone, paese notoriamente votato al progresso e caratterizzato da una popolazione sempre più senescente, si è arrivati a teorizzare una nuova società, denominata Society 5.0, assolutamente Human-centered, derivante dalla convergenza avanzata tra il cyberspazio e lo spazio fisico, che consente all'IA, basata su big data e su robot, di eseguire o supportare il lavoro e gli adattamenti che gli esseri umani hanno dovuto finora inventare. Il risultato libererebbe gli esseri umani dal lavoro quotidiano e dai compiti gravosi o per i quali non sono particolarmente adatti e, attraverso la creazione di nuovo valore, permetterebbe di fornire solo quei

prodotti e servizi essenziali alle persone che ne hanno bisogno nel momento in cui sono necessari, ottimizzando così l'intero sistema sociale ed organizzativo. Da quanto sopra Frank Pasquale deriva, tra le altre, due nuove leggi dei robot: i robot dovrebbero essere complementari ai professionisti e non sostituirsi ad essi; i robot non dovrebbero imitare o fingere l'umanità. Per concludere, se teniamo in considerazione la natura dei robot quali mere macchine guidate da un software che, tra le altre funzioni, hanno quelle di elaborare i dati riguardanti gli assistiti e, quindi, di creare un profilo identificativo del soggetto assistito stesso, si potrà anche applicare l'art. 22 del GDPR sulle decisioni automatizzate (tali potendo essere considerate le scelte "imposte" dal robot attraverso la sua "intelligenza") e la profilazione, norma europea che sempre di più si rivela pionieristica nell'ambito della regolamentazione della moderna tecnologia.

### Ulteriori applicazioni dell'AI in sanità

L'AI può svolgere inoltre un ruolo importante nella prevenzione delle frodi. Le frodi nel settore sanitario sono enormi specie negli USA e si stima che ammontino a circa 380 miliardi di dollari all'anno provocando un aumento dei costi vivi e dei premi delle assicurazioni mediche per i consumatori. L'implementazione dell'AI può aiutare a riconoscere anomalie o richieste di rimborso assicurativo sospette, come ad esempio nel caso di una fatturazione di procedure o servizi onerosi che in realtà non vengono eseguiti, l'unbundling (ovvero la fatturazione di singoli passaggi di una procedura come se fossero invece procedure separate) e l'esecuzione di test non necessari per ricevere il pagamento da parte delle assicurazioni, avvenimenti accaduti anche in Italia. L'AI ha anche un notevole potenziale per migliorare l'esperienza degli utenti nel settore dell'assistenza sanitaria. Uno studio recente ha rilevato che per l'83% dei pazienti l'aspetto peggiore della propria esperienza nel settore sanitario risiede nella scarsa comunicazione, dimostrando in questo l'assoluta necessità di una comunicazione più chiara e completa tra paziente ed operatore sanitario. Le tecnologie AI, come l'elaborazione del linguaggio naturale (NLP), l'analytics predittiva ed il riconoscimento vocale potrebbero aiutare gli operatori sanitari a stabilire una comunicazione più efficace con i pazienti. L'AI potrebbe, ad esempio, fornire informazioni più specifiche sulle opzioni di trattamento di un paziente, consentendo all'operatore sanitario di interagire in modo più significativo con il paziente stesso ed arrivare così ad un processo decisionale condiviso. L'AI, inoltre, potrebbe essere utilizzata per aumentare l'efficienza nelle diagnosi sanitarie. Secondo la School of Public Health di Harvard (USA), anche se impiegata da pochissimo tempo, l'AI quando esegue una diagnosi riesce a ridurre i costi di trattamento fino al 50% e ne migliora i risultati in termini di



salute del 40%. Un esempio di caso d'uso si è realizzato nell'Università delle Hawaii, un cui team di ricerca ha scoperto che l'implementazione della tecnologia AI di deep learning è in grado di migliorare la previsione dei rischi per il cancro al seno. Sono chiaramente necessarie ulteriori ricerche, ma il capo ricercatore ha sottolineato che un algoritmo di AI può essere addestrato su un set di immagini molto più ampio di quello di un radiologo, fino a un milione o più di immagini radiologiche. Inoltre, l'algoritmo può essere replicato a costo zero, ad eccezione dell'hardware. Un gruppo IT ha sviluppato un algoritmo di apprendimento automatico (ML) per stabilire quando è necessario l'intervento dell'uomo; in alcune situazioni, come nel caso dell'identificazione della cardiomegalia nelle radiografie al torace, è stato scoperto che il modello ibrido uomo-AI è quello che produce i migliori risultati. In un altro studio pubblicato è stato scoperto che l'AI è stata in grado di riconoscere i tumori maligni della pelle addirittura meglio di medici esperti. Ricercatori statunitensi, tedeschi e francesi hanno utilizzato il deep learning su oltre 100.000 immagini per individuare il cancro della pelle. Mettendo a confronto i risultati dell'AI con quelli di 58 dermatologi internazionali, è stato dimostrato che l'AI ha obiettivamente fatto meglio (pubblicato nel 2021 su "European journal of cancer" condotto da un team di ricercatori internazionali). L'AI nelle organizzazioni sanitarie potrebbe anche significare un migliore monitoraggio della salute e migliori cure preventive. Man mano che i dispositivi per la salute ed il fitness diventano più popolari, sempre più persone utilizzano app che tracciano ed analizzano i dettagli sulla loro salute. Queste app condividono poi tali set di dati in tempo reale con i medici per monitorare eventuali problemi di salute e fornire avvisi in caso di problemi. Le soluzioni di AI, come le applicazioni di big data, gli algoritmi di machine learning e gli algoritmi di deep learning, possono essere utilizzate anche per aiutare le persone ad analizzare grandi set di dati per favorire i processi decisionali clinici e di altro tipo. L'AI può essere utilizzata anche per aiutare a rilevare e monitorare le malattie infettive, come COVID-19, tubercolosi e malaria [28,29,30]. L'Intelligenza Artificiale (AI) sta migliorando notevolmente la ricerca sulle malattie infettive e la risposta alle epidemie. Ad evidenziarlo, sulla rivista Nature il 19 febbraio 2025, è una review che per la prima volta considera l'impatto dell'AI a livello di salute pubblica mondiale. Lo studio pone anche l'accento sulla sicurezza, la responsabilità e l'etica nell'implementazione degli strumenti basati sull'Intelligenza Artificiale. Questo lavoro è frutto di una partnership tra gli scienziati dell'Università di Oxford – guidati da Moritz Kraemer, dell'Istituto di scienze pandemiche della Università britannica – e rappresentanti del mondo accademico, dell'industria e delle organizzazioni politiche di Africa, America,

Asia, Australia ed Europa. L'obiettivo numero uno di questo studio è quello di prepararsi ad una eventuale nuova pandemia. Con il miglioramento della qualità dei dati, i modelli predittivi diventano sempre più precisi ed affidabili. E questa è una buona notizia soprattutto per quel che riguarda la preparazione ad un'eventuale prossima pandemia. La chiave di volta, in questo senso, è offerta dall'integrazione – gestita dall'AI – di dati provenienti da modelli di diffusione delle malattie, di individuazione di aree ad alto potenziale di trasmissione, di banche di dati genetici, utili alla sorveglianza delle malattie ed alla definizione delle proprietà dei nuovi patogeni, nonché delle eventuali nuove varianti di patogeni già circolanti. Inoltre la disponibilità dei dati provenienti da fonti quali le "tecnologie indossabili", come quelle che monitorano la frequenza cardiaca o misurano l'attività fisica, potrà contribuire ad un'ulteriore affidabilità dei modelli predittivi. Ma non solo: "Nei prossimi cinque anni l'Intelligenza Artificiale avrà il potenziale per trasformare la preparazione alle pandemie e -conclude Moritz Kraemer- ci aiuterà ad individuare meglio i focolai delle epidemie ed a prevederne la traiettoria, utilizzando terabyte di dati climatici e socio-economici raccolti di routine". L'AI sarà utile anche per prevedere l'impatto dei focolai di infezione sui singoli pazienti, studiando le interazioni tra il sistema immunitario ed i patogeni emergenti. L'AI infine può aiutare a collegare dati sanitari eterogenei. Uno dei vantaggi apportato dall'utilizzo dell'AI al sistema sanitario è la semplificazione della raccolta e della condivisione delle informazioni. L'AI può, inoltre, anche aiutare i fornitori a tenere traccia dei dati dei pazienti in modo più efficiente. Un esempio è quello del diabete, secondo il Centers for Disease Control and Prevention, il 10% della popolazione statunitense soffre di diabete. I pazienti ora possono utilizzare dispositivi indossabili ed altre apparecchiature di monitoraggio che forniscono feedback sui livelli di glucosio a loro stessi ed al loro team di medici. L'AI può aiutare i providers a raccogliere tali informazioni, archivarle ed analizzarle e fornire "insight" (comprensioni profonde) basati sui dati di un gran numero di persone. L'utilizzo di queste informazioni può aiutare i professionisti del settore sanitario a determinare come trattare e gestire meglio le patologie. Anche le aziende farmaceutiche stanno iniziando ad utilizzare l'AI per cercare di migliorare la sicurezza dei farmaci. Ad esempio, l'azienda Selta Square, azienda pioniera della farmacovigilanza, sta innovando il processo di farmacovigilanza (PV), una disciplina obbligatoria per legge per il rilevamento e la segnalazione di effetti negativi derivanti dai farmaci al fine di valutare, comprendere e prevenire tali effetti. La farmacovigilanza richiede uno sforzo ed un impegno considerevoli da parte dei produttori farmaceutici, in quanto viene eseguita dalla fase di sperimentazione clinica fino alla disponibilità del farmaco per tutta la sua durata di



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

utilizzo terapeutico e commerciale. Selta Square utilizza una combinazione di AI ed automazione per rendere il processo di farmacovigilanza più rapido ed accurato, contribuendo così a rendere i farmaci più sicuri per i pazienti di tutto il mondo. Sottolineiamo come a volte, l'AI potrebbe ridurre la necessità di testare fisicamente potenziali composti farmaceutici, il che comporta un enorme risparmio in termini di tempi di immissione in terapia e di costi. Le simulazioni molecolari ad alta fedeltà possono essere eseguite su computer senza dover affrontare i costi elevati dei metodi di scoperta tradizionali. L'AI ha inoltre il potenziale per aiutare l'uomo a prevedere la tossicità, la bioattività ed altre caratteristiche delle molecole o a creare da zero molecole di farmaci precedentemente sconosciute.

### Governance dell'AI nel settore sanitario.

Con l'aumento dell'importanza dell'AI nel campo dell'assistenza sanitaria e lo sviluppo di un numero sempre maggiore di applicazioni mediche basate su AI, è necessario stabilire una governance etica e normativa. Le questioni che sollevano preoccupazioni includono la possibilità di parzialità, la mancanza di trasparenza, dubbi sulla privacy per quanto riguarda i dati utilizzati per l'addestramento dei modelli AI e le questioni relative alla sicurezza ed alla responsabilità. La governance dell'AI è necessaria ed indispensabile, soprattutto per le applicazioni cliniche della tecnologia. Tuttavia, dal momento che le nuove tecniche di AI sono fondamentalmente un territorio inesplorato per la maggior parte delle organizzazioni sanitarie, mancano regole, processi e linee guida comuni che gli imprenditori virtuosi possano seguire mentre danno forma ai loro progetti pilota. L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha trascorso 18 mesi per deliberare con i maggiori esperti di etica, tecnologia digitale, diritto e diritti umani e vari membri dei Ministeri della Salute per produrre un report chiamato Ethics & Governance of Artificial Intelligence for Health [31]. Questo report identifica le sfide etiche legate all'uso dell'AI nel settore sanitario, identifica i rischi e delinea sei principi di consenso per garantire che l'AI funzioni a beneficio del pubblico:

1. protezione dell'autonomia.
2. Promuovere la sicurezza e il benessere dell'essere umano.
3. Garantire la trasparenza.
4. Promuovere la responsabilità.
5. Garantire l'equità.
6. Strumenti di promozione reattivi e sostenibili.

Il report dell'OMS fornisce inoltre delle raccomandazioni per garantire che la gestione dell'AI per l'assistenza sanitaria massimizzi le aspettative della tecnologia e renda gli operatori sanitari responsabili ed attenti alle comunità ed ai pazienti con cui hanno a che fare. Descriviamo anche il futuro e le potenzialità dell'AI nell'ecosistema sanitario: l'AI

offre la possibilità di ridurre l'errore umano, assistere i professionisti ed il personale medico e sanitario e fornire assistenza ai pazienti 24 ore su 24, 7 giorni su 7, 365 giorni all'anno senza interruzioni di sorta. Con il costante sviluppo degli strumenti di AI, è possibile utilizzare ancora di più la tecnologia AI per leggere le immagini mediche, le radiografie e le scansioni, diagnosticare eventuali problemi medici ed approntare i diversi piani di trattamento. Le applicazioni di AI continuano a contribuire a semplificare varie attività, dal rispondere al telefono all'analizzare l'evoluzione dello stato di salute della popolazione (insieme, probabilmente, ad applicazioni ancora da considerare). Ad esempio, i futuri strumenti di AI potrebbero automatizzare o migliorare ulteriormente il lavoro dei medici, dei loro staff e delle altre professioni sanitarie. Ciò consentirà alle persone di dedicare più tempo ad un'assistenza professionale faccia a faccia che sia più efficace ed empatica.

### Intelligenza artificiale in sanità: vantaggi e rischi secondo l'OCSE

L'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE), entità internazionale di 38 stati che si occupa di politiche economiche, ha pubblicato un interessante documento in merito all'utilizzo dell'intelligenza artificiale in sanità, tracciandone i "solchi positivi", rappresentati dai benefici e dalle opportunità, nonché "i solchi negativi", ossia i sempre presenti rischi che attanagliano tale importante ed impattante tecnologia. L'OCSE offre una panoramica completa dello scenario evolutivo dell'intelligenza artificiale nel settore sanitario, descrivendo il potenziale innovativo di tale tecnologia nel miglioramento dell'assistenza sanitaria.[32]. Descriviamo successivamente cosa emerge da questo studio e com'è possibile sfruttare tutte le potenzialità dell'IA nell'healthcare (assistenza sanitaria). Il documento emesso dall'OCSE offre una panoramica completa dello scenario evolutivo dell'intelligenza artificiale nel settore sanitario, descrivendo il potenziale rivoluzionario di tale onnipresente tecnologia nel miglioramento dell'assistenza sanitaria globalmente nominata "healthcare", ben bilanciato con i rischi e le sfide che ne derivano. Dal report emerge che l'intelligenza artificiale possiede un enorme potenziale per trasformare il settore sanitario in molteplici aspetti.

#### *Le potenzialità dell'IA nel settore sanitario*

Per l'OCSE, l'intelligenza artificiale ha lo straordinario potenziale per portare ad un miglioramento della salute dei pazienti, ad un aumento della produttività degli operatori sanitari e, per finire, alla creazione di esperienze sanitarie "patient-based", ossia incentrate sul paziente. Per quanto riguarda il miglioramento della salute, l'intelligenza artificiale può analizzare grandi quantità di dati sanitari,



identificando modelli e tendenze che sfuggono all'occhio umano. Ciò può portare a diagnosi più precise, trattamenti personalizzati ed una migliore prevenzione delle malattie. Per quanto attiene l'aumento della produttività degli operatori sanitari, l'intelligenza artificiale può "automatizzare" le attività amministrative "ripetitive", lasciando al personale sanitario del tempo prezioso che può permettere loro di concentrarsi maggiormente sui propri pazienti. Questo si traduce in una migliore qualità dell'assistenza sanitaria ed in una maggiore soddisfazione del paziente. Infine, per ciò che riguarda le esperienze sanitarie incentrate sul paziente, l'intelligenza artificiale può personalizzare l'esperienza sanitaria, creando percorsi di cura adatti alle esigenze individuali. Per esempio, l'utilizzo di chatbot basati sull'intelligenza artificiale che possono rispondere alle domande dei pazienti, fornendo loro supporto emotivo e facilitando l'accesso alle informazioni. Tuttavia, non è tutto oro ciò che luccica; infatti, sono innumerevoli i rischi e le sfide da considerare.

#### *I rischi dell'IA in sanità.*

L'utilizzo dell'Intelligenza Artificiale in sanità presenta alcuni rischi da non sottovalutare, che vanno dalla possibile presenza di algoritmi "distorti", violazioni di sicurezza dei dati (data breach) e da potenziali problematiche connesse ai posti di lavoro [33,34,35]. In merito al primo problema, se non progettati ed addestrati con attenzione, gli algoritmi di intelligenza artificiale possono essere soggetti a distorsioni, portando a discriminazioni di diversa natura. Parliamo dei cosiddetti "pregiudizi" (o "bias") dell'intelligenza artificiale. Si pensi, per esempio, se un algoritmo utilizzato per l'ammissione in ospedale discriminasse pazienti appartenenti a determinati gruppi etnici. Il secondo punto è, per noi europei, fortemente correlato al GDPR ed all'AI Act, ossia il regolamento europeo sull'Intelligenza Artificiale [36]. Il regolamento generale sulla protezione dei dati in sigla RGPD (o GDPR in inglese General Data Protection Regulation), ufficialmente regolamento (UE) n. 2016/679, è un regolamento dell'Unione europea in materia di trattamento dei dati personali e di privacy, adottato il 27 aprile 2016, pubblicato sulla Gazzetta ufficiale dell'Unione europea il 4 maggio 2016 ed entrato in vigore il 24 maggio dello stesso anno ed operativo a partire dal 25 maggio 2018. La legge sull'IA è il primo quadro giuridico in assoluto sull'IA, che affronta i rischi dell'IA e pone l'Europa in una posizione di leadership a livello mondiale. La legge sull'IA (regolamento (UE) 2024/1689 stabilisce norme armonizzate sull'intelligenza artificiale. L'obiettivo delle norme è promuovere un'IA affidabile in Europa. I sistemi di intelligenza artificiale memorizzano frequentemente grandi quantità di dati sanitari. Violazioni connesse a queste tipologie di dati, "particolari" (o sensibili), ai

sensi del GDPR, potrebbero avere conseguenze gravi, con una quantità elevata di informazioni private che potrebbero essere utilizzate per scopi dannosi. Il terzo punto riguarda la sempre presente spada di Damocle connessa al binomio intelligenza artificiale e perdita di posti di lavoro, con l'automazione di sempre più attività sanitarie che potrebbe causare disoccupazione nel settore sanitario globale se male interpretata, ove è doveroso chiarire in maniera definitiva a tale riguardo che l'AI si affianca ed aiuta ma non sostituisce gli operatori.

#### *Come promuovere l'uso responsabile dell'intelligenza artificiale in sanità.*

Il documento varato dall'OCSE sottolinea la necessità di un quadro politico e di supervisione chiaro per garantire un utilizzo responsabile dell'intelligenza artificiale in sanità. Questo quadro, da un lato, dovrebbe affrontare i rischi sopra menzionati, ossia garantendo che i sistemi di intelligenza artificiale siano progettati, sviluppati ed utilizzati in modo da minimizzare i rischi di discriminazione, di violazioni della sicurezza dei dati e perdita di posti di lavoro. Dall'altro lato, dovrebbe promuovere la trasparenza e la responsabilità, garantendo che i processi decisionali basati sull'intelligenza artificiale siano trasparenti e che gli operatori sanitari ed i pazienti siano responsabili delle loro azioni; infine, dovrebbe favorire la collaborazione e la condivisione delle conoscenze, facilitando la collaborazione tra ricercatori, sviluppatori, operatori sanitari e pazienti, per promuovere lo sviluppo e l'utilizzo responsabile dell'intelligenza artificiale in sanità.

#### *La questione etica.*

Oltre ai rischi ed alle sfide, l'OCSE affronta anche i temi legati all'etica, alla privacy ed all'autonomia dei pazienti. In merito all'etica, come abbiamo accennato, l'accesso "diseguale" all'intelligenza artificiale potrebbe esacerbare le disuguaglianze già esistenti in campo sanitario. I pazienti di aree remote od a basso reddito potrebbero non avere accesso alle ultime tecnologie di intelligenza artificiale disponibili sul mercato. In merito alla privacy ed alla protezione dei dati personali, l'utilizzo dell'intelligenza artificiale in sanità solleva importanti questioni che attengono a potenziali conflitti con le normative di settore (come GDPR ed AI Act). È fondamentale garantire che i dati sanitari dei pazienti siano raccolti, utilizzati e condivisi in modo sicuro e conforme alla normativa applicabile (per noi europei "si legge" sempre GDPR e le normative nazionali correlate). In merito all'autonomia dei pazienti, infine, l'intelligenza artificiale non deve essere utilizzata per prendere decisioni sui pazienti senza il loro consenso informato o contro la loro volontà. È fondamentale che i pazienti mantengano il controllo sulla propria salute e che le loro decisioni siano rispettate da ambo le



parti (per esempio, nel rapporto medico-paziente). L'OMS ha emesso le linee guida "Etica e governance dell'intelligenza artificiale per la salute - Linee guida per i modelli multimodali di grandi dimensioni (LMM)" disponibili anche in versione italiana. Le linee guida offrono oltre 40 raccomandazioni rivolte a vari destinatari tra cui gli operatori sanitari con l'obiettivo di garantire un uso responsabile, sostenibile ed inclusivo dell'intelligenza artificiale, specialmente quella generativa, per la salute ed in sanità, nel rispetto di alcuni principi etici cardine:

- tutelare l'autonomia per cui il controllo sui sistemi sanitari e sulle decisioni mediche deve sempre rimanere in capo all'uomo;
- promuovere il benessere e la sicurezza in modo che le ricadute nell'uso siano positive per la salute senza che si corrano rischi;
- garantire la trasparenza, la "spiegabilità" e la comprensibilità delle tecnologie dell'intelligenza artificiale;
- favorire la responsabilità e la rendicontabilità al fine di garantirne un uso appropriato e da parte di persone adeguatamente formate;
- garantire inclusività ed equità evitando pregiudizi e monitorando gli effetti discriminanti che già sono presenti in questi modelli;
- promuovere un'intelligenza artificiale sostenibile per i sistemi sanitari, l'ambiente ed i luoghi di lavoro.

Il 1 marzo 2025 è stato presentato un modello di intelligenza artificiale addestrato su un'enorme quantità di dati genomici che segna un passo avanti nella progettazione di nuovi genomi. Gli scienziati, infatti, hanno annunciato il rilascio del più grande modello di intelligenza artificiale mai sviluppato per la biologia. Battezzato Evo 2, questo modello è stato addestrato su 128.000 genomi provenienti da tutto l'albero della vita, dagli esseri umani ai batteri unicellulari. È in grado di scrivere sia interi cromosomi che piccoli genomi da zero, oltre a decifrare il DNA esistente, compresi quei tratti non codificanti spesso associati a malattie ma difficili da interpretare. Si tratta di un modello senza precedenti per la biologia. Evo 2 è stato addestrato su oltre 9,3 trilioni di nucleotidi estratti da 128.000 genomi. Questa mole di dati lo pone alla pari, in termini di scala, con i più potenti modelli generativi di linguaggio. Il suo obiettivo è quello di riconoscere con grande rapidità schemi genetici che richiederebbero anni di ricerca sperimentale, identificare mutazioni legate a malattie e persino progettare nuovi genomi, lunghi quanto quelli di batteri semplici. Negli ultimi anni, la ricerca ha prodotto modelli di intelligenza artificiale sempre più avanzati per la biologia. Evo 2 fa un passo in più: il suo addestramento non si limita alle sequenze codificanti (quelle che forniscono istruzioni per la sintesi delle proteine), ma comprende anche il DNA non codificante, che regola l'attività genica. Per rendere Evo 2 accessibile

alla comunità scientifica, l'Arc Institute di Palo Alto, California, una organizzazione di ricerca nonprofit, ha sviluppato Evo Designer, un'interfaccia user-friendly che permette di esplorare le sue potenzialità. Inoltre, il codice sorgente del modello è open source, disponibile su GitHub ed integrato nel framework Nvidia BioNeMo, accelerando così la ricerca in ambito genetico. Una delle principali sfide per l'AI applicata alla biologia è la complessità dei genomi eucarioti, che contengono regioni codificanti e non codificanti intrecciate tra loro, oltre a elementi regolatori situati anche a milioni di basi di distanza dai geni controllati. Evo 2 è stato progettato proprio per riconoscere ed interpretare schemi nel DNA su una scala senza precedenti. Per dimostrarne l'efficacia, il team di Health Science University (HSU) della Bioassociazione Aghape ha testato Evo 2 su BRCA1, un gene associato al tumore al seno. Il modello si è rivelato capace di prevedere l'impatto delle mutazioni con un'accuratezza paragonabile ai migliori strumenti AI per la biologia. Un risultato che potrebbe aprire nuove prospettive nella diagnosi e nella terapia delle malattie genetiche. In sintesi, Evo 2 rappresenta un salto evolutivo per la biologia computazionale, con enormi potenzialità nella ricerca scientifica e nella medicina. Tuttavia, sarà cruciale monitorarne gli sviluppi e garantire un uso responsabile di una tecnologia così potente. Questo genere di tecnologia potrebbe però suscitare un forte interesse in paesi dove non sono impensabili esperimenti controversi come la modifica del DNA di embrioni umani con Crispr vedi il caso He Jiankui, ad esempio. Il biofisico cinese He Jiankui scosse il mondo scientifico nel 2018. Durante il summit internazionale sull'ingegneria genetica umana, questo scienziato cinese confermò la nascita delle prime tre bambine geneticamente modificate. Per ottenere questo risultato, aveva utilizzato la tecnica CRISPR/Cas9 per modificare il DNA degli embrioni e per renderli immuni dall'infezione del virus HIV0. In Cina è stato condannato all'equivalente di 350.000 euro di multa ed a tre anni di carcere per pratiche mediche illegali! anche perché i risultati non sono stati quelli sperati: una delle bambine presenta il gene modificato in eterozigosi, ovvero una copia è funzionante mentre l'altra no, il che le potrebbe garantire una minore probabilità di contrarre la sindrome, senza tuttavia renderla immune. L'embrione dell'altra bambina ha invece sofferto di mosaicismo, ovvero non tutte le cellule dell'embrione sono state modificate, il che non la rende immune. Non è possibile sapere quali saranno le conseguenze sulle bambine. L'accaduto ha posto il governo cinese dinnanzi alla problematica di riempire dei vuoti normativi riguardante l'editing genetico. Con un modello come Evo 2, si potrebbero accelerare lo sviluppo di tecnologie legate all'eugenetica, al potenziamento umano o ad applicazioni militari della biologia sintetica. La trasparenza ed il controllo etico saranno fondamentali per evitare questi scenari



preoccupanti. Tuttavia, essendo Evo 2 open source, è difficile impedire che chiunque lo utilizzi per scopi non etici. In ogni caso, le tecnologie avanzano, ed il vero punto è come vengono utilizzate.

*L'Intelligenza Artificiale può salvare vite ed aiutare il lavoro dei sanitari. Attenzione però al possibile acuirsi delle disuguaglianze.*

L'uso di questo nuovo strumento, secondo l'OCSE, può risultare fondamentale nell'affrontare alcune delle grandi sfide del settore quali la carenza della forza lavoro, possibili future minacce per la salute pubblica, l'invecchiamento della popolazione e la crescente complessità nella gestione della salute delle persone dovuta alle molteplici patologie croniche. Ma non mancano i rischi: dalla mancanza di trasparenza ad un utilizzo iniquo dei dati che potrebbe generare discriminazioni, fino ai potenziali danni legati alla privacy su dati sensibili come quelli sanitari. L'intelligenza artificiale (IA) però è qui per restare nella nostra società in maniera sempre più intensa. Questa la premessa da cui parte l'analisi dell'OCSE nella quale si rivendica l'aver lavorato con largo anticipo sul fenomeno adottando fin dal 2019 dei "Principi" in base ai quali regolamentare il suo utilizzo. L'IA, si spiega, ha un potenziale "significativo" non solo nel salvare vite umane, ma anche nella possibilità di migliorare il lavoro degli operatori sanitari e rendere i sistemi sanitari più incentrati sulle esigenze dei pazienti. L'uso di questo nuovo strumento, secondo l'OCSE, può risultare fondamentale nell'affrontare alcune delle grandi sfide del settore quali la carenza della forza lavoro, possibili future minacce per la salute pubblica, l'invecchiamento della popolazione e la crescente complessità nella gestione della salute delle persone dovuta alle molteplici patologie croniche. L'uso crescente di queste nuove tecnologie non è però esente da rischi quali una possibile esacerbazione delle disuguaglianze digitali e sanitarie, l'aumento dei rischi legati alla privacy ed una possibile diffidenza da parte delle persone. "Attualmente, l'IA viene progettata, sviluppata ed implementata nelle strutture sanitarie di tutto il mondo, sfruttando i set di dati locali per l'addestramento e vengono resi disponibili i risultati - spiega l'OCSE -. Esiste però il rischio di uno sviluppo frammentato di innovazioni legate all'IA costruite e mantenute da organizzazioni sanitarie facoltose e disponibili solo per fasce benestanti della popolazione". Il documento OCSE illustra le principali opportunità che l'IA offre per migliorare i risultati in termini di salute, i rischi che devono essere affrontati e propone un'azione politica per rendere operativa un'IA responsabile che rispetti i diritti umani e migliori i risultati in termini di salute in modo uniforme.

*L'IA salva vite.*

Solo nel 2023 in Europa circa 163.000 persone potrebbero essere morte a causa di errori medici (dati OCSE) ed il 30% degli errori medici è dovuto fondamentalmente ad errori di comunicazione. L'IA può migliorare questo aspetto facendo emergere le informazioni giuste, alle persone giuste, al momento giusto e nel contesto giusto, prevenendo così errori, salvando vite umane e migliorando i risultati sanitari. Questo - si legge nel documento OCSE - si aggiunge alla promessa dell'IA di utilizzare grandi quantità di dati clinici (ad esempio, immagini, anamnesi dei pazienti) per aiutare gli operatori sanitari nella diagnosi e nell'ottimizzazione del trattamento dei pazienti. Se usata, in modo sicuro ed appropriato, l'IA potrebbe far crescere in modo esponenziale la evidence based medicine (EBM) e migliorare sia i risultati sanitari che l'assistenza alle persone.

*L'IA può aiutare gli operatori sanitari a dedicare più tempo alle cure.*

L'IA aiuta gli operatori sanitari ad esercitare la loro professione ed investire il loro tempo nel rapporto con i pazienti, anziché dedicarsi alla trascrizione di appunti ed al lavoro amministrativo sempre più presente nella moderna medicina a scapito delle attività puramente sanitarie. Il 36% delle attività di assistenza sanitaria e sociale potrebbe essere automatizzato utilizzando l'IA. Questi aumenti di produttività ridurrebbero il deficit previsto di 3,5 milioni di professionisti della salute necessari entro il 2030 in tutta l'area OCSE. L'intelligenza artificiale può migliorare la qualità del lavoro, la qualità delle interazioni umane e la qualità dei risultati e favorire lo sviluppo delle professionalità [37,38].

*L'IA può aiutare a proteggere le infrastrutture sanitarie digitali dalle minacce alla sicurezza.*

Gli attacchi informatici ai sistemi sanitari sono un fenomeno crescente e secondo alcune proiezioni questi attacchi causeranno perdite finanziarie fino a 10,5 trilioni di dollari entro il 2025. Questi attacchi utilizzano sempre più spesso l'intelligenza artificiale per trovare e sfruttare le vulnerabilità dei sistemi sanitari che invece potrebbero imparare le lezioni apprese dall'utilizzo dell'IA in altri settori di attività per rilevare le minacce e prevenirle così da evitare la perdita dei dati e la violazione degli stessi.

*L'IA può aiutare il settore sanitario a sbloccare quel 97% dei dati sanitari che attualmente non sono utilizzati per aiutare i processi decisionali.*

La progettazione, lo sviluppo e l'implementazione di sistemi di IA nel settore sanitario traggono vantaggio dall'accesso tempestivo a dati di notevole qualità e potrebbero fare molto di più. L'IA è stata utilizzata per individuare i primi segni dell'infezione da Covid-19 ed ha accelerato la scoperta di vaccini che



hanno salvato milioni di vite. L'IA potrebbe essere utilizzata per aiutare a sviluppare trattamenti per le malattie rare, migliorare la sicurezza dei sistemi sanitari individuando modelli insoliti di malattia, identificare opportunità di prevenzione delle malattie croniche o per far progredire la moderna medicina personalizzata. Queste applicazioni innovative saranno di maggiore impatto con la cooperazione tra le diverse organizzazioni sanitarie [39].

*Le opportunità dell'IA nel settore salute sono significative e richiedono un'azione urgente per affrontare ostacoli e rischi.*

Occorre stabilire le basi politiche, tecniche e di dati per sviluppare un'IA responsabile e sicura, implementata e scalata a beneficio di tutti. Questo deve essere fatto in modo da ridurre al minimo i potenziali danni legati alla privacy, alla sicurezza, ai pregiudizi ed alla disinformazione. Sono necessarie iniziative e strategie proattive per generare risultati positivi ed al contempo implementare soluzioni solide per garantire il rispetto dei diritti fondamentali alla privacy, alla non discriminazione ed alla sicurezza. Ci sono però anche rischi che devono essere affrontati in modo efficace. I rischi derivanti dall'IA includono scadenti algoritmi (a causa di distorsioni, dati di bassa qualità, mancanza di trasparenza o utilizzo in contesti inappropriati); fughe di dati personali (a causa di violazioni della privacy e della sicurezza nella raccolta dei dati o nell'esecuzione degli algoritmi di IA); soluzioni imposte alla forza lavoro sanitaria, che mettono a dura prova i lavoratori; e la mancanza di chiarezza nella responsabilità per la gestione dell'IA - e per ogni possibile risultato sfavorevole. Allo stesso modo, però, il mancato utilizzo dell'IA comporta rischi. Citiamo tra quest'ultimi l'aumento del divario digitale, in cui le soluzioni di IA sono disponibili solo per sottogruppi limitati di cittadini; il continuo esaurimento mentale e fisico degli operatori sanitari a causa dell'aumento del carico amministrativo; l'incapacità di generare e diffondere i benefici dei progressi scientifici per migliorare la qualità della vita, solo per citarne alcuni. Non è possibile ridurre i rischi a zero. L'azione nell'ambito dell'IA deve prendere in considerazione i modi migliori per eliminare o mitigare rischi di danni a breve, medio e lungo termine. Un'implementazione ed una supervisione efficaci dell'IA dovrebbero utilizzare e sfruttare in modo ottimale i dati e le risorse tecnologiche, imparando continuamente ed adattando i relativi piani d'intervento quando necessario. I principi dell'IA dell'OCSE sono stati adottati da tutti i Paesi dell'OCSE e si riflettono nei principi dell'IA del G20 (il Gruppo 20 o G20 è un forum dei leader, dei ministri delle finanze e dei governatori delle banche centrali, creato nel 1999). Questi forniscono un insieme comune di linee guida per facilitare lo sviluppo responsabile ed efficace, l'impiego e la manutenzione di soluzioni di IA.

Questi principi orientano l'implementazione dell'IA in modo da mettere gli esseri umani al centro della progettazione. I principi sono un punto di partenza e devono essere resi operativi attraverso gli strumenti ed i processi giusti, le politiche ed i meccanismi di applicazione. L'adozione, l'uso e l'evoluzione dell'IA dovrebbero essere regolati in modo efficace con un'appropriata applicazione delle norme e con una rendicontazione trasparente. Alcuni Paesi stanno istituendo organismi e meccanismi di supervisione dell'IA, ma sono relativamente pochi ad oggi quelli che hanno un approccio mirato all'IA in ambito sanitario e manca una legislazione dedicata nella maggioranza dei paesi.

*Capacità del personale sanitario di utilizzare l'IA per migliorare i risultati sanitari.*

Con l'implementazione dell'IA in sanità, le funzioni lavorative cambieranno, con il risultato che alcuni ruoli potrebbero non essere più necessari o potrebbero richiedere competenze molto diverse. A livello aggregato, si stima che il 27% dei lavori sia ad alto rischio di automazione. Numerosi professionisti del settore sanitario non sono ancora stati dotati delle competenze necessarie per comprendere il valore degli strumenti di IA nella loro pratica per risparmiare tempo e migliorare i risultati di salute. Inoltre, lo sviluppo di strumenti di IA per la salute non sempre coinvolge gli operatori sanitari e le soluzioni che ne derivano possono aggravare il loro carico di lavoro già pesante, contribuendo al burnout di questi operatori. Il mutamento organizzativo della Medicina sta determinando radicali cambiamenti non solo all'interno delle strutture ma anche nella professionalità dei diversi addetti. Lungo questo percorso è sempre più problematico definire rigidi steccati fra i professionisti che vi operano. Riconsiderare il ruolo, ridisegnare la funzione dei singoli professionisti, capaci di lavorare insieme in modo multiprofessionale e multidisciplinare, rappresenta il "core" del processo di modernizzazione della sanità. Sicuramente questo processo, non solo organizzativo ma principalmente culturale, richiamerà tutti gli operatori ad una nuova alleanza, ciascuno secondo la propria competenza e responsabilità ma all'interno di valori comuni, per assicurare al paziente una Medicina appropriata, efficace ed efficiente. Il mutamento delle professioni è ormai alle porte. La scarsità di risorse pubbliche da destinare ad un volume crescente e sempre più diversificato di bisogni della collettività, unitamente all'esigenza di ammodernare l'apparato delle amministrazioni pubbliche per favorire l'integrazione europea e rendere al contempo il sistema Paese maggiormente competitivo possono essere considerati tra i fattori che determinano una stagione di profonde riforme istituzionali che hanno caratterizzato la pubblica amministrazione italiana a partire dagli anni '90. Uno dei settori



maggiormente interessati da questo fabbisogno di razionalizzazione della spesa e di miglioramento del rapporto fra qualità dei servizi e risorse impiegate è in prima istanza quello sanitario. Sicuramente andranno ridefiniti i modelli organizzativi delle dotazioni organiche. Nella nuova visione di una moderna Medicina si profilano declaratorie di area o categoria, in relazione ai cambiamenti dei processi lavorativi, indotti dalle innovazioni di servizio o processo e dalle nuove tecnologie ed alle conseguenti esigenze di fungibilità delle prestazioni e di valorizzazione delle competenze professionali. Si considerino ad esempio i fabbisogni di nuove professioni e competenze professionali necessari per l'implementazione d'innovazioni legislative o di policy, di sicuro impatto quali: il codice delle amministrazioni digitali (CAD), il Piano Triennale per l'informatizzazione delle PA (gestore di progetto/project manager; gestore della sicurezza ICT/ICT security manager; progettista di esperienza utente/user experience designer; esperto di dati/data scientist); il codice degli appalti e la nuova politica delle infrastrutture (gestore di progetto complesso; gestore di rete); la politica di coesione e la gestione dei fondi strutturali e di investimento europei (SIE) (gestore di programma/program manager; gestore di progetto/ project manager, gestore del rischio/risk manager; specialista di appalti, di aiuti di stato, di normativa comunitaria, di contabilità e finanza). Occorre, quindi, dare risalto a:

- contenuti dei profili professionali in relazione ai nuovi modelli organizzativi;
- possibilità di rappresentare e definire in modo innovativo i contenuti professionali, di individuare nuove figure o di pervenire alla definizione di figure polivalenti, nell'ottica di sostenere i processi di cambiamento organizzativo e di incentivare comportamenti innovativi. [40,41].

Le amministrazioni sanitarie dovranno, quindi, individuare i profili professionali in coerenza con le funzioni (missioni) che sono chiamati a svolgere, della struttura organizzativa, dei processi e, non da ultimo, delle relazioni interne ed esterne e del codice etico e comportamentale. I profili professionali dovranno tenere conto del grado di responsabilità connesso a ciascuna posizione e, quindi, del posizionamento all'interno dell'organizzazione, delle relazioni richieste, delle attività da svolgere, degli strumenti da utilizzare (job description). Occorre, poi, definire le competenze richieste per ciascun profilo professionale in relazione alle conoscenze, alle capacità ed alle caratteristiche comportamentali. Occorre modificare l'offerta dei pubblici servizi. In un mondo ove la trasformazione delle esigenze cambia velocemente, perché i vecchi bisogni vanno in pensione e se ne aggiungono di altri, è obbligo per la pubblica amministrazione (PA) di considerare ciò anzitempo impegnandosi a rilevare gli attuali

bisogni con metodologie fisico-scientifiche credibili. Con questo, le anzidette analisi preventive devono essere supportate da un preventivo lavoro sul campo e tenendo conto delle tecnologie di ultima generazione che consentano non di sostituire la persona ma di richiedere tipologie professionali in grado di ben adoperarle. L'intelligenza artificiale, oramai ovunque alle porte, farà il resto, con la previgente necessità di oggi di tenerla già in pratica considerazione per non rischiare dei dolorosi flop di organico e di funzionamento della PA. Con un tale siffatto errore di ipotesi comportamentale è facile immaginare il disastro che si sta concretizzando da anni nella sanità e come questo si trasformerà facilmente in tragedia, a seguito dell'eredità della pandemia da Covid-19 e dei danni causati dalla assenza quasi assoluta di assistenza territoriale [42,43,44,45,46]. Le soluzioni di IA per la salute devono essere progettate per essere ampiamente accessibili. Quando l'IA per la salute viene implementata, i benefici possono essere disponibili solo per un sottoinsieme della popolazione, con conseguenti disuguaglianze. Le disuguaglianze che si vengono a creare possono essere legate alla cultura, al genere, al reddito o alle aree geografiche, tra gli altri. È fondamentale, pertanto, che la base progettuale dell'implementazione della AI garantisca ampia accessibilità. I dati utilizzati per l'IA devono essere rappresentativi e le soluzioni trasparenti. L'IA per l'apprendimento automatico utilizza grandi quantità di dati per scoprire modelli e fare previsioni. Se i dati utilizzati non sono rappresentativi della popolazione umana che la soluzione è destinata a servire e/o sono di bassa qualità, potrebbe produrre risultati scadenti, dannosi o discriminatori (ad esempio, quando l'IA viene addestrata sulla base dei dati relativi ai risultati riguardanti uomini e le soluzioni vengono poi invece applicate alle donne) [47,48]. Le soluzioni di intelligenza artificiale proteggono i dati personali e migliorano i risultati sanitari. L'utilizzo di grandi quantità di informazioni sanitarie personali dettagliate nello sviluppo e nel funzionamento di soluzioni di IA rischia di violare il diritto alla riservatezza delle informazioni sanitarie. L'ampia serie di dati, inoltre, rappresenta un obiettivo significativo per i cyberattacchi. Lo sviluppo di soluzioni di IA deve ridurre al minimo i danni che possono derivare dall'uso, dall'abuso e dal mancato utilizzo dei dati. È necessario un coordinamento transfrontaliero ed intersettoriale per ottimizzare i benefici dell'IA in ambito sanitario e mitigarne i rischi. È necessario sostenere l'armonizzazione delle politiche e l'adeguamento della legislazione per l'IA, come ad esempio consentire regole coerenti per l'accesso ai dati sanitari personali e la loro pseudonimizzazione che protegga le persone e consenta l'uso di dati protetti a fini di ricerca sulle malattie rare o di monitoraggio per la salute pubblica. La pseudonimizzazione comporta il trattamento dei dati personali in modo tale che gli stessi dati



non possano più essere attribuiti ad un interessato specifico senza l'utilizzo di informazioni aggiuntive, a condizione che tali informazioni aggiuntive siano conservate separatamente e soggette a misure tecniche ed organizzative intese a garantire che tali dati personali non siano attribuiti ad una persona fisica identificata od identificata.

### **Errori dell'AI, di chi è la responsabilità nel diritto in Italia.**

I problemi pratici e giuridici connessi all'utilizzo dell'intelligenza artificiale possono facilmente far venire in mente la celebre "Prima Legge della Robotica" ideata dallo scrittore di romanzi fantascientifici Isaac Asimov: «Un robot non può recar danno a un essere umano e non può permettere che, a causa di un suo mancato intervento, un essere umano riceva danno». Chiudendo un occhio sull'imprecisa equivalenza tra robot e AI, tale (fittizia) "legge" descrive in maniera evocativa l'ipotesi di atto illecito che può generare forme di responsabilità risarcitorie legate all'uso di questa tecnologia ormai piuttosto diffusa. Come ogni sistema di civil law, l'ordinamento del nostro paese è costituito da norme generali che trovano applicazione in ogni fattispecie ad esse astrattamente sussumibile. L'introduzione di una nuova tecnologia, dunque, di per sé non rende per forza necessario l'adozione di nuove norme o principi giuridici. È certamente vero, tuttavia, che l'avanzare della frontiera tecnologica pone spesso problemi interpretativi e pratici non da poco conto. È assodato tuttavia che l'AI si affianca ma non sostituisce l'operatore a cui spetta l'onere e la responsabilità di accettare o meno le valutazioni prospettate dall'AI. L'Unione Europea si è prefissa l'obiettivo di risolvere alcune delle questioni discusse. È del 28 settembre 2022 (Procedure 2022/0303/COD) una proposta di direttiva del Parlamento europeo relativa all'adeguamento delle norme in materia di responsabilità civile extracontrattuale all'intelligenza artificiale [50]. Il testo proposto adotta un approccio basato su due misure principali:

- l'introduzione di una presunzione relativa di causalità che stabilirebbe un nesso causale tra la violazione di uno specifico dovere di diligenza e l'output fornito dal sistema di IA coinvolto, facilitando l'onere della prova dei soggetti danneggiati;
- l'attribuzione alle corti nazionali il potere di ordinare a chi le possiede l'esibizione dei documenti e delle informazioni relative ai sistemi di IA ad alto rischio sospettati di aver causato il danno, in modo da facilitare la prova del nesso causale e l'individuazione dei soggetti responsabili.

L'iniziativa del legislatore europeo rappresenta un segnale di attenzione verso un settore, quello dei servizi basati sull'AI, tanto strategico quanto sfidante, pur rischiando di imporre agli operatori dei principi di accountability ai quali potrà risultare

particolarmente gravoso fare fronte [51.52]. Resterà in ogni caso necessario uno sforzo interpretativo da parte dei professionisti del settore legale, che saranno chiamati ad inquadrare le diverse fattispecie a seconda delle circostanze che si presenteranno sulla base di un approccio necessariamente case-by-case, valorizzando anche i diversi profili di responsabilità dei soggetti coinvolti, a vario titolo, nella programmazione, istruzione, commercializzazione e gestione dei complessi sistemi di AI. Passiamo adesso in rassegna alcune applicazioni di AI già oggetto di utilizzo in alcune professioni sanitarie in attesa degli ulteriori prossimi sviluppi.

### **Radiologia, l'importanza della digitalizzazione e dell'AI**

L'AI e la tecnologia dovrebbero essere integrate nel workflow clinico al fine di supportare il lavoro del clinico [53]. L'intelligenza artificiale (AI) applicata alla radiodiagnostica (TAC, RMN, Rx) permetterà diagnosi più accurate per il riconoscimento automatico di anomalie con alta precisione e garantirà una maggiore efficienza dei processi decisionali. Da un punto di vista radiologico, l'AI è particolarmente importante perché è in grado di osservare dettagli che l'occhio umano talvolta non è in grado di riconoscere o di cogliere al primo impatto. Infatti, bisogna partire dal presupposto che le immagini radiologiche, così come le fotografie che noi osserviamo quotidianamente, non sono nient'altro che un'enorme quantità di dati. Per cui un'immagine radiologica ed un'immagine digitale contengono al loro interno, appunto, una serie di importanti informazioni. Il lettore che osserva un'immagine radiologica, che può essere ad esempio una frattura di un osso o una radiografia del torace, quando legge questo esame si basa sulla propria conoscenza e confronta quello che ha imparato negli anni con le immagini che sta osservando.

#### *Il machine learning per diagnosi più accurate*

L'intelligenza artificiale riesce a fare la stessa cosa ma con una capacità di confronto di immagini molto superiori all'essere umano, attraverso un processo di apprendimento dei dati che appartengono alle immagini stesse, chiamato Machine Learning, in cui si sottopongono al computer una serie di immagini di patologia (o tradizionali), già classificate come sane o patologiche, e gli si insegna innanzitutto a distinguerle. Fatto questo, lui immagazzinerà le informazioni e, una volta che avrà appreso, potrà applicare la propria conoscenza a tutte le immagini che gli riproporremo. Questo è esattamente ciò che fa un essere umano e che in molti casi il computer riesce a fare con uguale maggiore accuratezza ed in minor tempo. Questo perché la capacità di riconoscere dettagli molto minimi su un'immagine radiologica è sicuramente molto maggiore per una macchina addestrata rispetto a personale di



radiologia talvolta anche esperto. In futuro, non si assisterà certamente alla scomparsa del personale, perché sappiamo molto bene come queste figure professionali (radiologo e TSRM) non si occupano soltanto dell'osservazione di un'immagine e della successiva scrittura di un referto, ma ovviamente si occupano della conoscenza del paziente, sia da un punto di vista della storia clinica, sia da un punto di vista diagnostico per comprendere meglio se una certa diagnosi possa essere compatibile con le sue patologie e così via. Quali saranno quindi i vantaggi in un prossimo futuro? Sicuramente, ciò farà la differenza soprattutto su chi sarà in grado di utilizzare questo tipo di applicazioni per farsi supportare nella diagnostica rispetto a chi non la utilizzerà: questo perché la tecnologia potrà fornirci un enorme supporto nel miglioramento delle nostre capacità diagnostiche. Facciamo un esempio: pensiamo ad alcune immagini radiologiche, che vengono effettuate in maniera routinaria e che magari non vengono refertate subito dal medico per qualsivoglia motivo. L'AI potrebbe essere in grado di riconoscere un referto inatteso ed urgente su uno di quegli esami e di segnalarlo immediatamente all'attenzione dello specialista. Segnaliamo inoltre la possibilità di riduzione delle dosi di radiazione per maggiore sicurezza dei pazienti. La radiologia quindi è una delle metodologie che risentirà maggiormente dell'utilizzo dell'intelligenza artificiale. In radiologia l'AI rappresenterà una branca dell'informatica che aiuta ad interpretare meglio le immagini degli esami. L'invecchiamento della popolazione ed i cambiamenti degli stili di vita stanno portando ad un aumento delle patologie croniche, questa situazione è aggravata dal fatto che c'è una carenza di personale sanitario. L'AI e la tecnologia dovrebbero essere integrate nel workflow clinico al fine di supportare il lavoro del clinico per risparmiare tempo specialmente durante le operazioni di routine. C'è molto clamore intorno alle professioni in radiologia e sul fatto che il deep learning, il machine learning e l'IA, in generale, potrebbero sostituire il personale in futuro e che forse tutto ciò che si finirà per fare sarà guardare le immagini supervisionate informaticamente. Tuttavia, questo non è vero perché questo tipo di innovazione non andrà a sostituire il personale dedicato ma lo assisterà nei diversi compiti colme prezioso ausilio.

### AI in Medicina di Laboratorio

Il tema dell'Intelligenza Artificiale (AI) riveste sempre maggior interesse anche per la Medicina di Laboratorio, che si presta moltissimo al suo sviluppo ed all'utilizzo nella pratica, grazie alle caratteristiche dei dati prodotti nella sua attività ed alle loro applicazioni a supporto di diagnosi, terapia, prognosi e gestione del monitoraggio dei pazienti. Il settore della diagnostica in vitro, ed in particolare al suo interno per quello che si riferisce ai laboratori clinici, rappresenta nelle aziende sanitarie uno dei principali produttori di dati ed informazioni

correlate con caratteristiche riassumibili nelle "5V" (volume, varietà, velocità, veridicità, valore) assimilabili a quelle tipicamente associate ai Big Data [42,43,44,45,46]. È nota infatti la numerosità dei dati di laboratorio, caratteristica fondamentale per lo sviluppo di modelli di AI, e l'estrema varietà che può fornire spesso, a differenza di molti altri tipi di esami a supporto della diagnostica, e referti con molteplici informazioni offerte in tempi rapidi. Inoltre, condizione irrinunciabile per il razionale utilizzo di AI, è la veridicità del dato che deve essere accurato, affidabile e riproducibile, per non ingenerare informazioni inaccurate. Infine, i dati prodotti dal laboratorio sono fondamentali per la diagnosi, e da tempo sono unanimemente riconosciuti essere alla base di oltre il 70% delle decisioni cliniche suggerite e/o adottate. È necessario però che questi "preziosi" dati non vengano utilizzati come meri numeri ma che il professionista di laboratorio metta in atto meccanismi di vigilanza, verifica, valutazione e super-visione (oltre 4V) sull'utilizzo degli stessi ed a loro garanzia. È essenziale, infatti, che i dati siano acquisiti nel rispetto della privacy, come auspicato anche dal Ministero della Salute, siano verificati in relazione alla correttezza della "forma" dell'informazione stessa (es. unità di misura ed utilità clinica) e che ne vengano valutate le eventuali fonti di interferenza. La supervisione è responsabilità di una serie di stakeholder tra cui i professionisti del settore e le Società Scientifiche, che sono tenute a confrontarsi sui molteplici aspetti dell'utilizzo dei dati di laboratorio per lo sviluppo di modelli di AI e sulla validazione ed utilizzo dei così detti sistemi esperti (applicazioni sviluppate con metodi di AI), in grado di ottimizzare significativamente i percorsi diagnostici e le modalità decisionali di tutti i professionisti sanitari del settore (medici, biologi, chimici, TSLB). Tutto questo avviene in un contesto organizzativo complicato, caratterizzato da una costante contrazione delle risorse disponibili, come emerso recentemente nei congressi nazionali delle principali Società Scientifiche di Medicina di Laboratorio (SIBioC, SIPMeL, AMCLI). Occorre tuttavia ragionare su peculiari aspetti per approfondire le tematiche su AI e Big Data, esplorare il grado di realizzazione degli strumenti oggi disponibili, le potenzialità future a disposizione nella e per la Medicina di Laboratorio, e sulla necessità di adottare una logica multiprofessionale e multidisciplinare di scambio e di condivisione di esperienze fra professionisti di laboratorio, clinici, imprese dell'IVD e decisori per affrontare al meglio il cambiamento. È opportuno che, nonostante i passi da gigante fatti dall'AI, l'utilizzo del valore numerico attribuito ad uno specifico biomarcatore per alimentare un qualsiasi algoritmo non può essere usato in maniera sterile, senza considerare le 9V anzidette, e che il percorso andrà comunque verificato e validato anche dai professionisti di laboratorio secondo le regole consolidate della



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

buona pratica di laboratorio, così come accade ogni giorno per qualunque esame diagnostico di nuova introduzione.

### AI in Neurofisiopatologia

Per i tecnici di neurofisiopatologia l'AI potrà fornire supporto per il monitoraggio neurologico avanzato, per l'analisi predittiva, l'interpretazione e la refertazione dei tracciati EEG e polisonnografici. Gli algoritmi di intelligenza artificiale possono analizzare i dati dell'elettroencefalogramma continuo per rilevare la presenza di una eventuale attività epilettica e prevedere o segnalare l'insorgenza di crisi. Questi modelli predittivi integrano diverse variabili cliniche, come i dati demografici del paziente, le comorbidità, le caratteristiche EEG e le risposte al trattamento, per stimare il rischio di esiti avversi come sequele neurologiche o la mortalità. L'identificazione precoce dei pazienti ad alto rischio può guidare un monitoraggio intensivo ed interventi mirati per migliorare gli esiti e ridurre al minimo le complicanze a lungo termine. Si possono infine ipotizzare le applicazioni di sistemi per monitorare il sonno. È stata inoltre dimostrata l'utilità dello strumento AI nell'identificare e contare gli spazi perivascolari allargati (ePVS). Questi spazi, pieni di liquido cerebrospinale, circondano le arterie e le vene e sono un marker di malattia dei piccoli vasi cerebrali che può portare ad ictus e demenza; questa ricerca è di fatto un'analisi di follow-up di 1.026 individui che hanno partecipato al Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA) [55].

### AI in audiometria

L'introduzione dell'IA in questo campo non ha soltanto ridefinito le tecnologie acustiche e le modalità di diagnostica, ma ha anche aperto le porte a nuove prospettive per coloro che soffrono di difficoltà uditive. Per i tecnici audiometristi l'AI trova applicazione nell'adattamento personalizzato degli apparecchi acustici, nell'analisi avanzata dei deficit uditivi con IA. Sono già disponibili delle applicazioni (App) per la gestione remota dei dispositivi. Gli apparecchi acustici sviluppati negli ultimi anni possono essere connessi a smartphone e televisioni tramite Bluetooth ed oggi chi li indossa non deve più dipendere dai tempi di durata delle batterie, ma può ricaricare comodamente il dispositivo durante la notte, per poi averlo pronto all'utilizzo la mattina successiva.

Con gli apparecchi acustici digitali è possibile effettuare chiamate, incontri, ascoltare musica e svolgere senza problemi le diverse attività della vita quotidiana. I dispositivi uditivi di ultima generazione offrono una qualità del suono più naturale e personalizzata, in grado di adattarsi all'ambiente circostante ed ai contesti in cui ci si trova. L'intelligenza artificiale consente infatti di analizzare costantemente l'ambiente ed adattare le frequenze in base alle esigenze di chi indossa

l'apparecchio acustico, integrando funzioni avanzate che permettono di dare priorità alle voci oppure ai suoni ambientali. I moderni apparecchi acustici si stanno trasformando sempre di più in dispositivi multifunzionali, che vanno ben oltre il solo regno del suono. Le più avanzate tecnologie acustiche sono già in grado di monitorare ad esempio l'attività fisica e cognitiva di chi indossa l'audioprotesi, di trasmettere audio dal telefono o dalla TV in modalità wireless, ma anche di rilevare cadute e persino inviare messaggi di allarme agli operatori sanitari. In un futuro non troppo lontano, possiamo anche immaginare che gli apparecchi acustici, oltre a migliorare l'esperienza uditiva, possano collegarsi direttamente ai sistemi di domotica all'interno delle nostre case ed avvisarci per esempio quando il timer del forno si spegne o quando qualcuno è alla tua porta di casa.

### AI nelle scienze infermieristiche

Quando si parla di Intelligenza Artificiale si pensa subito alle tecnologie all'avanguardia, ad un robot in grado di comprendere e decidere autonomamente le azioni da compiere. Un mondo futuristico in cui macchine ed uomini dovranno convivere. In realtà, la IA ed il suo utilizzo è molto più reale di quanto si possa immaginare ed è impiegata oggi in diversi settori della vita quotidiana. La conoscenza dell'Intelligenza Artificiale è d'obbligo specialmente per gli operatori sanitari ed, in particolare, per gli infermieri, perché per il corretto svolgimento del loro lavoro è necessario un aggiornamento continuo nella scienza della medicina [56]. L'utilizzo dell'IA nelle scienze infermieristiche è di assoluta importanza, poiché è in continuo cambiamento e si evolve quotidianamente, proprio come la scienza medica. Le applicazioni dell'IA in campo infermieristico sono utilizzate quotidianamente e possono essere presenti in tutte le fasi del percorso di un paziente: anamnesi, accettazione, appuntamenti, nella gestione delle cartelle cliniche elettroniche. L'AI può supportare e garantire un'assistenza infermieristica efficace e di qualità abbattendo anche i possibili errori (es. di trascrizione). In base alle informazioni inserite da parte degli infermieri, l'IA pianifica, programma ed aggiorna l'assistenza infermieristica avvalendosi di strumenti e sistemi di supporto decisionali. L'IA può creare turni degli infermieri più flessibili, per rendere più efficace la cura dei pazienti e la soddisfazione degli infermieri stessi. L'università di Pittsburgh (Pennsylvania USA), ha creato un'IA in grado d'analizzare le preferenze, le difficoltà e la disponibilità degli infermieri in modo da stilare un piano dei turni facendo un bilancio corretto per coprire anche le assenze ed eventuali lacune. L'IA può permettere l'utilizzo di un ChatBot per accedere a risposte e domande, facilitando la comunicazione e lo scambio di informazioni tra infermieri, pazienti, familiari, medici ed altri operatori sanitari. I Bot accedono ai dati e consentono di comunicare più velocemente, raccogliendo anche le osservazioni dei



pazienti, riassumono anche le informazioni per la consegna tra infermieri. Le IA utilizzano le tecnologie presenti nei dispositivi quotidiani (Google Assistant, Amazon Alexa, Siri, ecc.) ed utilizzano la tecnologia NLP (Natural Language Processing), che è in grado di trascrivere il parlato, riducendo così il tempo di comunicazione. Questo facilita la comunicazione, consentendo agli infermieri di avere più tempo disponibile per dedicarsi all'assistenza diretta del paziente.

L'IA così non solo migliora la comunicazione ma riduce anche il tasso di errori. In Italia l'Agenzia Sanitaria Nazionale per la sanità (AGENAS) ha avviato la procedura di dialogo competitivo per la realizzazione della Piattaforma di intelligenza artificiale a supporto dell'assistenza sanitaria primaria che dovrà essere operativa entro il 2026 dopo una fase sperimentale nel 2025 rivoluzionando così l'assistenza territoriale e la medicina di base.

### **L'IA applicata alla telemedicina**

L'applicazione dell'AI alla telemedicina serve a più compiti. Può effettuare infatti il monitoraggio del paziente a distanza. Monitorare i parametri vitali come la Pressione Arteriosa (PA), la Frequenza Cardiaca (FC), la Frequenza Respiratoria (FR) e la Saturazione di Ossigeno (Sat) ed il livello della glicemia nel sangue. Come funziona l'IA nel monitoraggio del paziente a distanza? L'AI può effettuare la raccolta dati, la trasmissione alla piattaforma IA, l'analisi con i sistemi di IA, la fornitura a medici ed infermieri di informazioni sulla salute attuale del paziente, può permettere di capire lo stato attuale del paziente in tempo reale. In base a tutto ciò, l'IA valuta lo stato di salute del paziente, monitora l'andamento della terapia e pianifica o modifica l'assistenza, inclusa eventualmente la decisione di ricoverare il paziente in ospedale in caso sia oggetto di assistenza domiciliare. L'AI nel monitoraggio a distanza utilizza un'applicazione che regola periodicamente la rilevazione dei parametri vitali, monitora l'ECG a distanza e comunica immediatamente le urgenze da gestire. Può rilevare anche i fattori ambientali, la qualità del sonno, l'attività fisica, lo stato del paziente e l'eventuale alimentazione.

### *Somministrazione dei farmaci*

Nella somministrazione dei farmaci, l'IA utilizza, controlla e corregge i dosaggi errati. Controlla eventuali allergie ed intolleranze dei pazienti ai farmaci. Identifica le interazioni fra i farmaci prescritti per un determinato paziente, individuando eventuali conflitti. Verifica il paziente corretto, il dosaggio e l'orario di somministrazione dei farmaci. La somministrazione ed il controllo dei farmaci vengono eseguiti tramite la lettura dei codici a barre evitando così eventuali sprechi dei farmaci. In conclusione si può affermare che l'intelligenza

artificiale può rimpiazzare l'infermiere? Affermare questo equivarrebbe a sostenere che i matematici non sono più necessari perché si dispone di computer e calcolatrici. Innanzitutto, dobbiamo capire che gli infermieri forniscono un'assistenza infermieristica in forma integrale ed olistica. L'IA esegue solo prestazioni standard che sono programmate, senza pensiero critico, sia per gli stessi infermieri che per i periti informatici. Gli infermieri offrono assistenza continua 24 ore al giorno, durante la quale svolgono tutti i tipi di prestazioni infermieristiche, dalle più semplici, come le cure igieniche, alle più complesse, come gestire le emergenze cliniche o un arresto cardiaco. L'IA serve come supporto agli infermieri e svolge solo le prestazioni assegnate, senza poter erogare un servizio globale. Oggi in Italia ci sono 51 milioni di utenti di Internet, 44 milioni di utilizzatori di Social Media su 60 milioni di cittadini ed una presenza sul web che nel 2023 ormai supera l'86% degli utenti; l'IA ha un grande impatto nel Paese, e così in ambito medico ed infermieristico ha trovato grande accoglienza." [57]. L'assistenza infermieristica non sarà mai completamente sostituita da robot, intelligenza artificiale o macchine con apprendimento automatico, poiché è un'assistenza olistica. Occorre considerare che l'AI esegue solo prestazioni basate su dati e algoritmi, decidendo in autonomia, ma fondando le proprie decisioni su dati inseriti dagli infermieri; i sentimenti umani non possono essere gestiti dalle macchine, ed il contesto ambientale non può essere completamente compreso dall'IA da sola, ma può essere gestito soltanto con l'aiuto umano. L'Intelligenza Artificiale è un potente strumento sempre più utilizzato nell'ambito infermieristico, ma la sua efficacia è difficile da confrontare e valutare a causa dell'utilizzo degli algoritmi e della mancanza di studi scientifici approfonditi. Inoltre, i risultati dell'IA dipendono da chi la progetta e da chi la utilizza, considerando che attualmente esistono regolamentazioni sull'IA, ma sono però poco applicabili poiché manca un valido e riconosciuto organo di controllo.

### **L'AI nella medicina riabilitativa**

L'AI in ambito riabilitativo potrebbe avere soprattutto due grossi campi di applicazione: supporto per la metodologia evidence based (EBM) e supporto per la diagnostica strumentale, in particolare in ambito di analisi strumentali e di diagnostica funzionale per immagini. Altro campo ancora da sviluppare è quello relativo alla riabilitazione in ambito virtuale, così come la possibilità di utilizzo in ambito di rieducazione cognitiva. Sono da valutare anche le potenzialità per quanto riguarda il coordinamento organizzativo e gestionale nel contesto di equipe multidisciplinari e multi professionali. Il principale vantaggio di questa tipologia di programmi è, comunque, la possibilità di elaborazione di una quantità di dati impossibile da gestire umanamente, questo fa sì che non sia da sottovalutare la capacità di rispondere in modo



rapido e competente dal punto di vista scientifico (cioè sulla base di dati di letteratura validati) ai quesiti degli operatori e degli assistiti. Altro punto a favore è la capacità di automatizzare, migliorare ed approfondire i reperti in diagnostica per immagini con eventuali suggerimenti per ulteriori accertamenti od interventi. In linea teorica vi potrebbe anche essere la possibilità di sviluppare programmi ad personam con supervisione specialistica, ma gestiti direttamente dalla persona assistita sfruttando la possibilità di interagire con linguaggio comune e senza bisogno di particolari competenze informatiche. L'AI pertanto sta trasformando il modo in cui si affronta la riabilitazione, offrendo strumenti innovativi che migliorano la qualità dei trattamenti. L'AI può supportare così il lavoro clinico quotidiano e contribuire a decisioni terapeutiche sempre più personalizzate [58]. L'IA è incredibilmente versatile, può essere difatti applicata in molte fasi del processo; dalla diagnosi, attraverso l'analisi automatizzata di immagini radiografiche o RM per identificare patologie con maggiore precisione, alla prognosi, con previsioni sui risultati dei trattamenti, fino alla personalizzazione dei trattamenti, per determinare il percorso terapeutico più efficace basato sui dati del paziente ed al monitoraggio continuo, così da valutare in tempo reale i progressi del paziente per adattare il trattamento alle sue reali necessità. L'analisi dei dati clinici attraverso tecniche avanzate può ad esempio migliorare la comprensione della scoliosi e dei suoi trattamenti. Un altro possibile utilizzo riguarda la diagnosi della lombalgia, dove l'IA può analizzare immagini radiografiche per identificare eziologie che altrimenti potrebbero sfuggire all'occhio umano. Questo approccio sfrutta la maggiore potenza di calcolo disponibile oggi, che permette di processare grandi quantità di dati in modo rapido ed accurato. Come l'IA potrebbe cambiare la gestione delle patologie vertebrali in futuro? Ci sono tre aree chiave in cui si può esprimere un enorme potenziale: screening e diagnosi precoce che significa rilevare la scoliosi o altre condizioni in una fase iniziale, migliorando gli esiti del trattamento; personalizzazione dei corsetti, ossia utilizzare i dati raccolti nei centri clinici per prevedere quale tipo di corsetto sarà più efficace per un determinato paziente; monitoraggio dei risultati, così da tracciare l'andamento della terapia ed adattarla in base ai progressi osservati, migliorando l'efficacia del trattamento. L'AI trova diretta applicazione ad esempio nell'utilizzo dell'esoscheletro (supporto esterno del corpo) e nell'utilizzo di nuove gambe per imparare a camminare autonomamente in persone con lesioni al midollo spinale. Gli esoscheletri utilizzano sensori posizionati sulla pelle per rilevare i segnali elettrici nel corpo del paziente e rispondere con il movimento alle sue articolazioni. Tra questi, l'azienda tecnologica giapponese Cyberdyne ha ottenuto l'approvazione della FDA per utilizzare l'esoscheletro ibrido per arti assistivi (HAL) nelle

strutture mediche statunitensi. Anche la società tecnologica nordamericana Argo ha sviluppato il ReWalk – una tuta esoscheletrica assistiva controllata tramite un telecomando da polso. Oggi i robot per la riabilitazione, gli esoscheletri per l'assistenza, le protesi di arto superiore ed inferiore, i sensori indossabili e gli algoritmi di intelligenza artificiale per la comunicazione e l'interazione con le macchine, i sistemi di realtà aumentata e virtuale per facilitare l'interazione con la tecnologia sono oggetto di ricerche avanzate ma ancora utilizzati in singoli centri all'interno di piccoli studi sperimentali che offrono i primi risultati incoraggianti ma non permettono di analizzare in modo sistematico l'efficacia clinica di queste tecnologie. Un ostacolo che il progetto «Fit For Medical Robotics» - capitanato dal Consiglio nazionale delle ricerche (CNR) con Università Campus Bio-Medico di Roma e Fondazione Don Gnocchi - sta cercando di superare con l'obiettivo finale di dimostrare scientificamente quale sia l'utilizzo più efficace di una tecnologia robotica all'interno del percorso riabilitativo del paziente, con la stessa precisione con cui oggi si è in grado di prescrivere un farmaco [59], il timeframe del progetto va dal 01 dicembre 2022 al 31 Agosto 2026. Per la prima volta in Italia la ricerca sulle tecnologie avanzate per la riabilitazione e la cura connette sinergicamente ingegneri e clinici all'interno di più di 50 diversi studi con oltre 2.000 pazienti coinvolti in più di 25 strutture su tutto il territorio italiano. I centri clinici e di ricerca e le aziende coinvolte operano insieme grazie a un finanziamento di 126 milioni di euro messi a disposizione nell'ambito del Piano complementare al PNRR dal Ministero dell'Università e della Ricerca. Cosa rende l'AI un alleato così prezioso per i clinici? L'IA amplifica le capacità del clinico, fornendo informazioni più dettagliate ed aiutandolo a prendere decisioni basate sui dati. Il rapporto medico-paziente rimane comunque centrale. L'IA non sostituisce l'esperienza e l'empatia del personale; piuttosto offre strumenti che migliorano il lavoro umano. Qual è il futuro dell'IA in medicina riabilitativa? Vedremo un'integrazione sempre più stretta esplorando come utilizzare l'IA per migliorare i risultati terapeutici e rendere la riabilitazione più mirata. Siamo solo all'inizio, ma le possibilità sono enormi, soprattutto se si riesce a combinare il meglio della tecnologia con la preziosa competenza umana.

Per i **logopedisti** sono già disponibili piattaforme interattive per disturbi dello sviluppo del linguaggio (DSL) e sistemi di riconoscimento vocale per diagnosi e terapia ed anche per il monitoraggio remoto del progresso terapeutico. L'IA, integrata in sistemi di apprendimento automatico ed analisi dati, offre la possibilità di superare alcune delle limitazioni dei metodi tradizionali. Utilizzando algoritmi di machine learning, l'IA può analizzare grandi quantità di dati in modo rapido ed accurato, identificando pattern difficili da individuare



attraverso le tradizionali tecniche di analisi. Applicata ai disturbi del linguaggio, questa tecnologia può analizzare le vocalizzazioni e le abilità predittive dei bambini, facilitando una diagnosi precoce e meno invasiva. Il Disturbo dello Sviluppo del Linguaggio è una condizione persistente che interessa circa il 7% dei bambini e ha un impatto significativo sulla loro capacità di comunicare ed apprendere. Identificare e trattare il DSL nelle fasi precoci può fare una grande differenza nella qualità della vita dei piccoli pazienti, ma le difficoltà diagnostiche sono molte: i tradizionali test linguistici sono spesso complessi, non sempre adatti ai bambini molto piccoli, e possono risultare ancora meno accurati per i bambini bilingue o con background culturali differenti.

Per i **terapisti della neuro e psicomotricità** sono già utilizzabili giochi robotici ed i nativi digitali per stimolare lo sviluppo motorio nei bambini, biosensori per analisi motoria avanzata e la personalizzazione degli esercizi in base ai progressi registrati dai pazienti. Si tratta di sistemi che richiedono un operatore preparato e formato che conosce l'utilizzo, le funzionalità e le potenzialità offerte dal software, in grado di decidere ed impostare il lavoro del piccolo paziente. La potenzialità principale di tutti gli strumenti descritti e soprattutto dei videogiochi, è data soprattutto dalla possibilità di utilizzare giochi creati appositamente per il paziente, con ambientazioni ed obiettivi in grado di stimolare le funzioni di interesse. Proprio per la loro grande varietà, in genere e tipologia, hanno infatti la possibilità di influenzare sia le abilità motorie quanto quelle cognitive, attraverso ambienti studiati ad hoc per tipo di paziente col supporto della realtà virtuale, che rende il trattamento ecologico, influenzando positivamente le risposte del paziente. Sul piano clinico i vantaggi più immediati sono proprio per i pazienti, perché si tratta di risorse che aumentano la motivazione del soggetto, per l'aspetto ludico che caratterizza gli esercizi e la relativa ambientazione. Ci sono però anche enormi vantaggi per il terapeuta, per le ampie possibilità di modulare la difficoltà del compito, l'intensità del trattamento ed il feedback sensoriale, personalizzando i piani ed i momenti del trattamento, con un miglior effetto riabilitativo dato dalla possibilità di monitorare le prestazioni raggiunte ed i risultati. Si tratta infine di attività facilmente trasferibili ad altri contesti, una volta determinati obiettivi, strumenti e livelli ed avviato il paziente ad un utilizzo corretto, con alcune sedute di apprendimento, il bambino è potenzialmente in grado di condurre parte della sua riabilitazione in autonomia, con l'aiuto dei propri genitori, trasferendo parte degli obiettivi riabilitativi al domicilio, secondo un modello di riabilitazione per cicli, funzionale alle esigenze dei pazienti e anche a quelle del Servizio perché permette di ridurre la liste di attesa.

Per i **tecnici della riabilitazione psichiatrica** abbiamo IA per monitoraggio comportamentale

predittivo, terapie virtuali per gestione di ansia e depressione ed App per il monitoraggio dei disturbi emotivi. Mirati alla gestione delle disfunzioni cognitive sono stati prodotti una serie di "digital games" attraverso i quali si possono monitorare i sintomi ed intervenire sulla psicoeducazione. Essi si sono successivamente evoluti in programmi psicosociali e cognitivi di intervento su deficit specifici in diversi disturbi psichiatrici. I servizi forniti possono includere: terapia cognitivo comportamentale, modificazione comportamentale, motivazione sociale, miglioramento dell'attenzione e biofeedback. La ricerca della AI, infine, ha prodotto recentemente Hume AI, un nuovo Large Language Model che è in grado di comprendere gli stati emozionali del suo interlocutore analizzandone i toni vocali, facilitando il rapporto empatico tra macchina e mente umana.

Per gli ortottisti e gli assistenti di oftalmologia sono già in uso applicazioni di AI per la diagnosi precoce di ambliopia e strabismo, la realtà aumentata per la riabilitazione visiva e l'analisi oculomotoria avanzata con IA. Nella retinopatia diabetica e nella degenerazione maculare legate all'età (principale causa di cecità) l'AI ed il machine learning hanno il potenziale per aiutare a salvare la vista di molte di queste persone. Al momento, i professionisti del settore utilizzano scansioni digitali del fondo oculare (la parte posteriore dell'occhio), nonché scansioni chiamate tomografia ottica a radiazione coerente (PTOM), per diagnosticare e determinare il trattamento corretto per queste gravi condizioni oculari. Queste scansioni sono molto complesse e richiedono molto tempo per l'analisi da parte dei professionisti, il che può avere un impatto su quanto velocemente si può parlare con il paziente circa la diagnosi ed il trattamento. Finora i tradizionali strumenti di analisi computerizzata non sono stati in grado di esplorarli completamente. Il progetto Moorfields Eye Hospital-Deepmind mira a studiare come il Machine Learning possa aiutare ad analizzare le scansioni oculari in modo efficiente ed efficace, portando ad una diagnosi e ad un intervento tempestivo per i pazienti, riducendo – al contempo – il numero di casi di deterioramento della vista degli interessati.

### **Citiamo adesso alcuni esempi di AI nell'area tecnico assistenziale.**

L'Intelligenza Artificiale (AI) sta lentamente rivoluzionando anche il mondo della scienza alimentare, offrendo soluzioni personalizzate che si adattano alle necessità individuali. Per i dietisti sono disponibili diete personalizzate con algoritmi predittivi, il monitoraggio continuo con dispositivi indossabili e l'educazione nutrizionale interattiva basata su IA. L'AI utilizza algoritmi avanzati di machine learning (ML) e deep learning (DL) per elaborare ed analizzare i dati relativi alle abitudini alimentari, allo stile di vita ed alle caratteristiche





personali. Seppure sia entrata a far parte della scienza della nutrizione relativamente tardi, l'AI permette ad oggi di offrire suggerimenti personalizzati e prendere decisioni nutrizionali informate, attingendo a banche dati genomiche, metagenomiche e cliniche. Grazie alle cosiddette scienze "omiche", è infatti stato possibile sino ad ora collezionare enormi moli di dati che sono spesso di difficile interpretazione e da cui solo tramite tecniche computazionali molto avanzate si possono estrapolare informazioni dettagliate e personalizzate a seconda del singolo paziente dal quale essi originano. In questo contesto, sfruttando l'AI, è stato possibile disegnare diete ad hoc per la gestione della sindrome dell'intestino irritabile (IBS) andando a differenziare l'alimentazione dei pazienti in base all'analisi bioinformatica del microbiota intestinale: l'AI si è dimostrata maggiormente efficace nell'identificare e proporre un piano alimentare efficace per i diversi sottogruppi di soggetti disbiotici rispetto alla dieta generalmente prescritta in caso di IBS. Non solo risolti per la nutrizione clinica, considerando che spopolano ormai app per smartphone basate su AI che permettono di suggerire apporti nutrizionali o scoprire nuove ricette, fino a supportare la scelta alimentare nella fase di bilanciamento dei nutrienti. Per i **tecnici della fisiopatologia cardiocircolatoria e perfusione cardiovascolare** l'IA può effettuare analisi in tempo reale durante interventi per l'ottimizzazione dei flussi di perfusione cardiovascolare ed effettuare simulazioni per la formazione su scenari critici, es. la circolazione extracorporea. L'IA, inoltre, ha già trovato ampia applicazione in elettrocardiografia in tutte le sue declinazioni, in ecocardiografia, nel controllo strumentale dei dispositivi di pacemaker, nelle metodiche extracorporee normotermiche ed ipertermiche per terapia antiblastica, pelvica, peritoneale, toracica, arti e fegato, nell'applicazione di protocolli per la preservazione di organo e gestione del trasporto, nelle tecniche di dialisi extracorporea e nella emodinamica del paziente procurata artificialmente dalla macchina cuore-polmone ed altre applicazioni sono attese a breve. Nell'odontoiatria si sono sviluppate un numero crescente di applicazioni che utilizzano l'intelligenza artificiale ed il numero degli studi di ricerca pubblicati in questo campo sono in crescita esponenziale. La World Dental Federation annovera l'intelligenza artificiale tra le tecnologie più importanti per la professione odontoiatrica futura, che porterebbe a migliorare la salute orale in tutta la popolazione attraverso l'analisi delle immagini radiografiche, la sintesi dei dati e l'odontoiatria predittiva, di precisione e personalizzata. La professione dell'**Igienista dentale** con le evoluzioni tecnologiche e l'ingresso dell'intelligenza artificiale può trarre un importante vantaggio soprattutto nell'interazione e nella comunicazione col paziente e vista la sua possibile applicazione anche in ambito

pubblico, potrebbe essere utile nel monitoraggio del cavo orale, nel garantire servizi di promozione della salute orale e nella prevenzione e trattamento delle principali patologie soprattutto in quella utenza che ha difficoltà di accesso ai servizi. Per gli igienisti dentali l'AI può supportare la diagnosi precoce di carie e patologie gengivali, essere applicata agli scanner intraorali, per la pianificazione dei trattamenti ed infine per l'educazione alla prevenzione orale. Il vantaggio clinico per l'Igienista dentale è rappresentato da una migliore raccolta, gestione ed elaborazione di dati ed indici clinici che permettono una precisa e attenta formulazione della diagnosi di igiene orale e l'elaborazione di un piano terapeutico individualizzato. L'analisi dei dati storici può inoltre permettere agli algoritmi di anticipare futuri problemi e favorire una più efficace prevenzione. I vantaggi extraclinici possono spaziare dalla gestione più organizzata delle attività e degli appuntamenti all'opportunità della telemedicina che grazie alla teleassistenza può garantire una più efficace comunicazione tra i professionisti sanitari ed i pazienti soprattutto nell'assistenza di persone con bisogni speciali che hanno difficoltà di spostamento. I **tecnici ortopedici** registrano un forte impulso all'innovazione, la cui evoluzione si è realizzata in parallelo alle nuove scoperte scientifiche, allo sviluppo di nuovi materiali e di nuove tecnologie. Ogni giorno vengono erogati migliaia di dispositivi ortoprotesici che comprendono ausili, protesi ed ortesi, dispositivi che solo il tecnico ortopedico ha la possibilità di mettere in servizio, certificandone l'idoneità e la conformità ai requisiti tecnici ed all'uso medico, come già disponeva la direttiva 46/92 e come disporrà il nuovo disciplinare europeo sui dispositivi medici. Il mondo dei dispositivi medici spazia dalle protesi di arto, ai busti e corsetti, dalle ortesi plantari, agli ausili per la deambulazione, a tutti i dispositivi utili per assistere persone non più autosufficienti, insomma un mondo vasto e complesso nel quale l'assistito trova la soluzione ortoprotesica più adatta a compensare la propria disabilità o a risolvere una propria condizione di invalidità temporanea o permanente. Per i tecnici ortopedici l'AI trova applicazione nella realizzazione di protesi personalizzate con stampa 3D, nell'analisi biomeccanica per ortesi su misura e nelle simulazioni virtuali per testare dispositivi. Un importante passo avanti nel campo delle protesi arriva dalla University of Science and Technology di Hefey, Cina, dove un team di ricercatori ha sviluppato una mano robotica che potrebbe cambiare la vita di molte persone con amputazioni degli arti superiori. La nuova protesi, dichiarata il 18 febbraio 2025, rappresenta un notevole progresso tecnologico, offrendo ben 19 gradi di libertà nel movimento - un numero che si avvicina significativamente ai 23 gradi di libertà di una mano umana naturale. Questo aspetto è particolarmente rilevante se consideriamo che le nostre mani, pur rappresentando solo 1/150



del peso corporeo, sono responsabili del 54% dei nostri movimenti quotidiani. La caratteristica più innovativa di questa protesi risiede nella sua leggerezza: con soli 370 grammi di peso, utilizza leghe a memoria di forma (SMA) come muscoli artificiali, materiali capaci di tornare alla loro forma originale quando vengono riscaldati. Questo sistema si distingue dalle protesi tradizionali che utilizzano meccanismi motorizzati, spesso limitati da una bassa densità di potenza e un peso elevato che può risultare scomodo durante l'uso prolungato. L'integrazione di un sistema di trasmissione biomimetico basato sui tendini amplifica la forza motrice delle leghe a memoria di forma, minimizzando al contempo la resistenza. La precisione nei movimenti è garantita da 23 sensori integrati nelle dita e nel polso, che permettono un controllo accurato di tutte le articolazioni della protesi. Un elemento distintivo è il modulo di raffreddamento, che ospita e supporta 38 attuatori SMA. Questo componente è fondamentale per gestire il calore generato durante l'utilizzo, consentendo alla mano protesica di eseguire una vasta gamma di movimenti in modo efficiente. La versatilità della protesi si manifesta nella sua capacità di svolgere attività quotidiane come pettinarsi, scrivere, utilizzare uno smartphone e persino giocare a scacchi. Particolarmente interessante è l'implementazione del controllo vocale, che supporta 60 lingue e 20 dialetti con un'accuratezza del 95%, rendendo la protesi accessibile ad un ampio numero di utenti.

Per i **tecnici audio protesisti** l'avvento dell'intelligenza artificiale (IA) nel settore audioprotesico segna un'era di trasformazioni radicali, che vanno ben oltre la tradizionale funzione degli apparecchi acustici. Questa tecnologia sta infatti aprendo le porte ad una personalizzazione senza precedenti dell'esperienza uditiva, rendendo possibile un adattamento in tempo reale alle esigenze individuali degli utenti, in un connubio perfetto tra innovazione tecnologica e cura personale. Gli algoritmi di apprendimento automatico stanno rivoluzionando il modo in cui gli apparecchi acustici interagiscono con l'ambiente circostante. Questi sistemi avanzati sono capaci di analizzare in modo continuo e sofisticato i suoni, distinguendo con precisione tra voci umane e rumori di fondo. Questo permette non solo una riduzione del rumore più efficace, ma anche una personalizzazione dell'amplificazione che si adatta alle specifiche situazioni uditive, migliorando drasticamente la qualità della vita degli utenti. La vera novità introdotta dall'IA nel settore audioprotesico è la capacità di apprendere dalle esperienze uditive passate dell'utente, per adattarsi in modo proattivo alle situazioni future. Questo significa che ogni apparecchio può diventare unico, configurato non solo in base al profilo audiometrico dell'individuo ma anche alle sue preferenze ed abitudini personali, offrendo così un'esperienza d'ascolto altamente

personalizzata. L'innovazione tecnologica ha reso le interfacce degli apparecchi acustici estremamente intuitive e facilmente gestibili tramite app dedicate. Queste applicazioni permettono agli utenti di personalizzare le impostazioni in base alle proprie necessità, offrendo un controllo granulare ed una flessibilità senza precedenti. Inoltre, la possibilità di accedere a dati analitici sull'udito apre nuove vie per la comprensione ed il miglioramento della propria salute uditiva. L'interoperabilità tra apparecchi acustici e dispositivi smart rappresenta un altro fronte su cui l'IA sta facendo grandi progressi. Grazie a questa integrazione, gli utenti possono godere di un'esperienza uditiva senza soluzione di continuità, che si estende dallo smartphone al sistema home entertainment, fino agli assistenti vocali, garantendo un miglioramento significativo della qualità di vita e dell'autonomia. L'AI può inoltre supportare gli apparecchi acustici con calibrazione automatica e supportare l'utilizzo della realtà aumentata per la riabilitazione uditiva. L'AI infine trova applicazione anche per il monitoraggio del progresso atteso.

### L'AI a servizio della prevenzione

L'AI ha il potenziale per trasformare radicalmente il modo in cui vengono identificati e gestiti i rischi per la salute. Mediante la simulazione con i cosiddetti "digital twins", potrebbe prevedere quali individui sono a maggior rischio di sviluppare determinate malattie, aprendo la strada ad interventi precoci ed a campagne di prevenzione mirate, andando a potenziare la medicina di precisione. Nell'ambito delle attività di prevenzione l'AI offre la possibilità di incrociare in pochissimo tempo una notevole massa di dati epidemiologici territoriali al fine di indirizzare programmi di prevenzione e di screening migliorando efficacemente l'assistenza. Un altro ambito promettente per l'applicazione dell'AI è nella gestione delle epidemie. Attraverso l'analisi di varie fonti di dati, inclusi i social media, l'AI può prevedere l'insorgenza e la diffusione di focolai infettivi. L'AI potrebbe segnalare che in un quartiere o in una città sta aumentando in modo atipico il consumo di antitussigeni ed antipiretici e sospettare una infezione respiratoria, oppure quello di antidiarroici ed antispastici, il che farebbe sospettare infezioni intestinali o se vi è coincidenza con una rete idrica con un inquinamento della stessa. Questo non solo potrebbe aiutare a mettere in atto misure di contenimento più efficaci ma anche ad ottimizzare la sorveglianza negli ospedali, automatizzando processi che tradizionalmente richiederebbero un significativo dispendio di tempo e di risorse umane. L'AI trova applicazione anche nella riduzione del carico prevenibile ed evitabile delle malattie croniche non trasmissibili (MCNT) che è riconosciuta come priorità a livello mondiale, essendo identificate come la prima causa di morbosità, invalidità e mortalità. Le evidenze hanno ormai ampiamente dimostrato che agire sui fattori di rischio modificabili riduca



in media del 30-40% le morti attribuibili e come, in tal senso, la prevenzione rappresenti lo strumento d'elezione. Per quanto riguarda specificamente l'ambito oncologico, la rilevanza della prevenzione primaria per la riduzione del rischio di sviluppare il cancro è ribadita nei piani oncologici disponibili sia a livello nazionale che europeo ed anche in quest'ambito ha un ruolo di primo piano l'AI. Per l'Italia in particolare, si stima che i fattori di rischio comportamentali e, quindi, modificabili, siano responsabili ogni anno di circa 65.000 decessi oncologici. La proiezione delle stime di incidenza al 2022, fornite sempre per l'Italia, indica più di 1.000 nuove diagnosi di tumore al giorno (390.700 diagnosi/annue) a carico soprattutto della fascia d'età adulta. Nel mondo del lavoro le analisi condotte attraverso strumenti di IA hanno consentito all'INAIL di aumentare il numero di imprese che possono accedere ai finanziamenti degli avvisi pubblici ISI per la realizzazione di progetti di investimento in materia di salute e sicurezza sul lavoro [60]. L'INAIL, nel Piano triennale per la prevenzione 2022-2024 definisce previsioni di sviluppo delle politiche di prevenzione di medio-lungo periodo, in linea con la Strategia europea per la salute e sicurezza sul lavoro 2021-2027 e con l'Agenda Onu 2030 e mette a disposizione di lavoratori, imprese, parti sociali ed istituzioni strumenti operativi di immediato utilizzo nell'azione di contrasto ad infortuni e malattie professionali. Le analisi condotte attraverso gli strumenti cognitivi hanno permesso di superare le difficoltà legate all'analisi di una notevole mole di documenti, che avrebbe altrimenti richiesto un impiego ingente di risorse umane. I vari stress test effettuati sullo strumento hanno permesso di stimarne l'affidabilità del risultato come pari o superiore all'80%. Nell'ambito della prevenzione sono stati scelti tre campi d'applicazione su cui concentrarsi: a) l'analisi, da parte dei sistemi di IA, di grandissime quantità di dati utilizzabile ai fini di studi epidemiologici o in materia d'infortunistica; b) il miglioramento della sicurezza dell'ambiente di lavoro attraverso sensori e sistemi controllati dall'IA; c) la robotica avanzata, che rende possibile una collaborazione tra uomo e macchina o consente di sostituire le persone con delle macchine laddove occorra svolgere attività particolarmente faticose o pericolose [61]. Il principale messaggio chiave è che le tecnologie considerate sono molto importanti per la prevenzione: quelle di riconoscimento basate sull'analisi di dati raccolti sul campo hanno compiuto progressi sbalorditivi. E ciò potrebbe racchiudere un grande potenziale di sviluppo dei sistemi tesi a garantire la sicurezza dell'ambiente di lavoro. L'automatizzazione di determinate operazioni, inoltre, resa possibile da queste tecnologie potrebbe un giorno sollevare i lavoratori dai compiti più pericolosi. In alcuni casi, tuttavia, l'operato di coloro che sviluppano e distribuiscono sistemi di IA si discosta fortemente dai valori fondamentali

della prevenzione europea. Nel quadro dell'ulteriore sviluppo dei sistemi è dunque importante adoperarsi affinché questi risultino in linea con tali valori. Poiché però nella pratica queste tecnologie devono ancora dare prova di validità, in futuro la prevenzione non potrà fare affidamento soltanto su di esse. Malgrado tutti i vantaggi illustrati relativamente ai tre campi d'applicazione innanzi menzionati, c'è anche il rischio non trascurabile che, contestualmente all'organizzazione del lavoro, a queste tecnologie venga attribuito un ruolo centrale per ragioni di redditività e che il lavoro umano finisca di conseguenza per passare in secondo piano. È inoltre importante considerare che spesso gli infortuni sul lavoro si verificano in situazioni atipiche, per esempio in condizioni di lavoro non consuete, in concomitanza con guasti tecnici o durante interventi di manutenzione. Non sempre però i sistemi di IA sono in grado di prevedere queste situazioni straordinarie e ciò ne limita le possibilità di applicazione. Per i tecnici della prevenzione l'AI trova applicazione nei sensori e droni per il monitoraggio ambientale, nei sistemi predittivi per la prevenzione di rischi e nelle simulazioni per la formazione del personale. Infine per gli assistenti sanitari con l'AI già oggi si può effettuare la promozione della salute pubblica personalizzata, il tracciamento epidemiologico in tempo reale e la gestione delle campagne vaccinali.

## CONCLUSIONI

Abbiamo cercato di evidenziare come l'intelligenza artificiale possieda un potenziale straordinario per rivoluzionare il settore sanitario, migliorando l'assistenza e l'efficienza degli operatori di tutti i settori ed in particolare nelle professioni sanitarie ma anche l'esperienza del paziente in ambito sanitario. È fondamentale, tuttavia, utilizzarla in modo responsabile, con un quadro politico e di supervisione adeguato che sappia affrontarne i rischi e le sfide. Solo così potremo garantire che l'intelligenza artificiale sia utilizzata a beneficio di tutti, creando un sistema sanitario più equo, efficiente e centrato sul paziente, nell'ottica moderna della medicina personalizzata. È necessario però agire con urgenza perché ci vorranno tempo, leadership, volontà, sforzi ed investimenti finanziari sia per ottenere che per sostenere i benefici dell'IA in campo sanitario. I decisori politici, a nostro parere, dovrebbero poter modellare in modo proattivo l'evoluzione dell'IA nei sistemi sanitari regionali, in modo da generare benefici equi in termini di salute, nel rispetto dei diritti dei cittadini e degli operatori tutti. In caso contrario, c'è il rischio che soluzioni di IA frammentate si radichino portando ad iniquità ed a costi eccessivi; in un sistema come quello sanitario oggi quasi asfittico di per sé rispetto ai crescenti bisogni di salute ed a benefici non ottimali. Non si possono infine trascurare i delicatissimi aspetti legati alle responsabilità connesse all'utilizzo dell'AI anche sottolineando che l'intelligenza artificiale non



può e non deve sostituirsi agli operatori sanitari ma solo affiancarsi ad essi, che sono gli unici a cui tocca l'onere e la responsabilità di accettare o meno quanto venga prospettato dall'AI. Il Parlamento dovrà a sua volta assicurare l'emanazione di una legislazione attenta agli sviluppi delle tecnologie per evitare vuoti normativi e disomogeneizzazione eccessiva a livello regionale. L'Unione europea il 9 dicembre 2023 ha approvato la normativa sull'intelligenza artificiale con l'obiettivo di garantirne lo sviluppo e nello stesso tempo di difendere i diritti fondamentali, lo Stato di diritto, la democrazia e la sostenibilità ambientale. È la prima volta al mondo che viene approvata una legge specifica sull'intelligenza artificiale ma occorreranno almeno due anni per la sua applicazione. Su proposta del Presidente del Consiglio dei ministri italiano Giorgia Meloni e del Ministro della giustizia Carlo Nordio, il Consiglio dei Ministri ha approvato in data martedì 23 aprile 2024 "un disegno di legge per l'introduzione di disposizioni e la delega al Governo in materia di intelligenza artificiale". Con tale provvedimento, il governo italiano si propone di armonizzare la legislazione nazionale a quella europea entro dodici mesi dall'approvazione dell'AI Act. L'Italia è dunque in prima linea nell'adozione responsabile dell'AI. La nuova bozza, composta da 26 articoli, si pone l'obiettivo di promuovere il pieno sfruttamento delle potenzialità dell'intelligenza artificiale mediante un utilizzo più responsabile, senza compromettere la sicurezza ed i diritti individuali. In quest'ottica, il disegno di legge non si sovrappone al Regolamento europeo sull'intelligenza artificiale approvato lo scorso 13 marzo 2023 dal Parlamento Europeo, di prossima emanazione, ma ne accompagna il quadro regolatorio in quegli spazi propri del diritto interno, tenuto conto che il regolamento è impostato su un'architettura di rischi connessi all'uso della intelligenza artificiale (IA). Il testo del disegno di legge prevede che "il ciclo di vita dei sistemi e dei modelli di intelligenza artificiale debba basarsi sul rispetto dei diritti fondamentali e delle libertà dell'ordinamento italiano ed europeo oltre che sui principi di trasparenza, proporzionalità, sicurezza, valorizzazione anche economica del dato, protezione dei dati personali, riservatezza, robustezza,

accuratezza, non discriminazione, parità dei sessi e sostenibilità". Il ddl stabilisce, tra l'altro, che in caso di utilizzo dell'intelligenza artificiale in ambito sanitario sarà obbligatorio informare i cittadini sull'utilizzo di tale tecnologia. Inoltre, sono dichiarati di interesse pubblico le ricerche e le sperimentazioni dei sistemi di AI in ambito sanitario eseguite. L'Artificial Intelligence, supporterà inoltre la cura e l'assistenza territoriale. Diviene così imprescindibile una rivoluzione culturale che dovrà essere recepita in primis nei modelli di formazione ed istruzione step by step, partendo dai percorsi di laurea e di specializzazione, per avere e garantire personale sempre più aggiornato e preparato e si profila un ruolo di primo piano per gli Ordini Professionali in materia. L'AI e la AI generativa sono sicuramente una risorsa fondamentale anche per il settore sanitario ma è di massima importanza, però, bilanciare tecnologie e valori umani. La formazione e l'aggiornamento del personale saranno le chiavi del successo ma occorre però collaborazione interdisciplinare per sfruttare al meglio le innovazioni nell'ottica moderna del lavoro di equipe anche in sanità. In conclusione è pur vero che l'integrazione dell'AI nell'assistenza sanitaria è in rapida crescita, ma richiede attenzione per evitare errori che minacciano la sicurezza e l'efficacia delle cure. Attualmente, i risultati dell'AI oscillano tra l'accuratezza e l'inefficienza, richiedendo la supervisione umana. Tuttavia, la vigilanza umana può essere limitata, quindi è essenziale introdurre misure by-design che migliorino il controllo umano, prendendo spunto da settori come l'aviazione e l'automotive per garantire sicurezza ed accettazione. Di fronte a queste sfide, è imperativo promuovere un dialogo aperto e costruttivo tra tutti gli stakeholder coinvolti: medici, tecnici, decisori politici, pazienti e società civile. Questo dialogo deve essere incentrato non solo sulla promozione dell'innovazione tecnologica ma anche sulla sensibilizzazione alla cultura del dato, utilizzando la "privacy" come strumento a protezione del singolo e non come ostacolo alla ricerca. Solo attraverso una comprensione profonda ed un impegno etico potremo assicurare che le innovazioni portate dall'AI generativa nel settore sanitario siano utilizzate in modo responsabile e benefico per tutti.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

1. [https://www.treccani.it/enciclopedia/intelligenza-artificiale\\_\(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica\)/-](https://www.treccani.it/enciclopedia/intelligenza-artificiale_(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica)/-)
2. *Storia dell'Intelligenza Artificiale: da Turing ai giorni nostri. Aggiornato il 24 ott 2024 / Creato il 16 mag 2019.*
3. <https://unpisi.it/2023/11/24/intelligenza-artificiale-nelle-professioni-sanitarie-presente-e-futuro/>.
4. Cabitza F, Campagner A, Soares F, et al. The importance of being external. methodological insights for the external validation of machine learning models in medicine. *Comput Methods Programs Biomed* 2021;208:106288.
5. Ministero della salute <https://www.salute.gov.it/portale/professionisanitarie/dettaglioContenutiProfessioniSanitarie.jsp?lingua=italiano&id=808&area=professioni-sanitarie&menu=vuoto>.
6. *Intelligenza artificiale e il nuovo orizzonte dell'assistenza sanitaria - Quotidiano Sanità. 10.07.2024.*
7. Lomis K, Jeffries P, Palatta A, et al. Artificial intelligence for health professions educators. *NAM Perspect* 2021;2021:10.31478/202109a.
8. Panch T, Mattie H, Atun R. Artificial intelligence and algorithmic bias: implications for health systems. *J Glob Health* 2019;9:010318.
9. <https://www.marionegri.it/magazine/intelligenza-artificiale-medicina>. 10.10.2024.
10. Ministero della Salute. I sistemi di intelligenza artificiale come strumento di supporto alla diagnostica. disponibile da: [https://www.salute.gov.it/portale/documentazione/p6\\_2\\_2\\_1.jsp?lingua=italiano&id=](https://www.salute.gov.it/portale/documentazione/p6_2_2_1.jsp?lingua=italiano&id=). 12.04.2022.
11. <https://unpisi.it/2023/11/24/intelligenza-artificiale-nelle-professioni-sanitarie-presente-e-futuro/>.
12. <https://www.buonenotizie.it/innovazione/2023/10/20/intelligenza-artificiale-e-medicina-e-salvezza-o-condanna/di-bello/>
13. <https://www.marionegri.it/magazine/intelligenza-artificiale-medicina>. 10/10/2024.
14. <https://pensiero.it/catalogo/libri/intelligenza-artificiale-e-medicina-digitale>. 2020.
15. Panch T, Mattie H, Atun R. Artificial intelligence and algorithmic bias: implications for health systems. *J Glob Health* 2019;9:010318
16. Wadden JJ. Defining the undefinable: the black box problem in healthcare artificial intelligence. *J Med Ethics* 2022;48:764-8.
17. *I vantaggi dell'AI nel settore sanitario/IBM. https://www.ibm.com/it-it/think/insights/ai-healthcare-benefits.*
18. <https://www.agendadigitale.eu/sanita/rischi-vantaggi-intelligenza-artificiale-sanita-OCSE/>. 31.05.2024.
19. Matheny ME, Whicher D, Thadaney Israni S. Artificial Intelligence in Health Care. *JAMA* 2020;323:509-10.
20. Network Digital 360, GDPR e blockchain, tutte le sfide di un rapporto complesso – Agenda Digitale. Available from: <https://www.agendadigitale.eu/documenti/gdpr-e-blockchain-tutte-le-sfide-di-un-rapporto-complesso/> (ultimo accesso 24 Ottobre 2022).
21. Eder J, Shekhovtsov VA. Data quality for federated medical data lakes. *International Journal of Web Information Systems* 2021;17:407-26.
22. <https://www.buonenotizie.it/innovazione/2023/10/20/intelligenza-artificiale-e-medicina-e-salvezza-o-condanna/di-bello/>
23. *L'AI Act, il futuro degli ospedali e il rapporto medico-paziente: il convegno del 13 dicembre 2024, Pisa.*
24. <https://www.sanita33.it/medici/3497/intelligenza-artificiale-e-professioni-sanitarie-i-rischi-di-una-disumanizzazione-delle-cure.html>.02.07.2024.
25. <https://www.ibm.com/it-it/topics/ai-bias>, 22/12/2023.
26. <https://www.nature.com/articles/s41591-021-01273-1>. March 2021; *Nature Medicine* 27(4):727-735. DOI:10.1038/s41591-021-01273- ...
27. Frank Pasquale, "New laws of robotics; Defending Human Expertise in the Age of AI Hardcover – October 27, 2020.
28. [https://www.quotidianosanita.it/studi-e-analisi/articolo.php?articolo\\_id=120155](https://www.quotidianosanita.it/studi-e-analisi/articolo.php?articolo_id=120155). 08.02.2024.
29. Pecoraro V, Pirotti T, Trenti T, et al. Big Data analysis to evaluate the clinical utility of IgM anti SARS-CoV-2 determination: the Modena experience. *Biochim Clin* 2022;46:154-9.
30. Carobene A, Sabetta E, Monteverde E, et al. Machine Learning based on laboratory medicine test results in diagnosis and prognosis for COVID-19 patients: A systematic review. *Biochim Clin* 2021;45:348-64.
31. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240029200>. 28/06/2021.
32. <https://www.agendadigitale.eu/sanita/rischi-vantaggi-intelligenza-artificiale-sanita-ocse/>. 31/05/2024.
33. <https://www.dirittoegiustizia.it/#/documentDetail/10975721>. 29-08.2024.
34. <https://www.coinanews.it/focus-professioni-sanitarie-il-futuro-del-rapporto-tra-infermieri-e-intelligenza-artificiale-una-sinergia-per-migliorare-la-sanita> 25.01.2025.
35. <https://www.agendadigitale.eu/sanita/lintelligenza-artificiale-in-sanita-ecco-dove-e-usata-e-con-quali-risultati/>. 31.03.2020-
36. GDPR <https://www.garanteprivacy.it/documents/10160/0/Regolamento+UE+2016+679.+Arricchito+con+ri-ferimenti+ai+Considerando+Aggiornato+alle+rettifiche+pubblicate+sulla+Gazzetta+Ufficiale++dell%27Unio-ne+europea+127+del+23+maggio+2>
37. <https://www.recentiproggressi.it/archivio/3981/articoli/39636/>. *RecentiProgMed* 2023;114(3):142-144.



38. <https://www.cnr.it/it/news/12738/curarsi-con-l'intelligenza-artificiale>. 29.05.2024.
39. <https://biochimicaclinica.it/big-data-e-intelligenza-artificiale-in-medicina-di-laboratorio-2/>. 47(1) 074-081, 20.11.2022.
40. <https://www.infermieristicamente.it/articolo/18522/come-cambia-la-responsabilita-professionale-dei-sanitari-nellera-dellintelligenza-artificiale?> 15.10.2024.
41. Bompelli A, Wang Y, Wan R, et al. social and behavioral determinants of health in the era of artificial intelligence with electronic health records: a scoping review. *Health Data Science* 2021;2021:1-19.
42. <https://biochimicaclinica.it/big-data-e-intelligenza-artificiale-in-medicina-di-laboratorio-2/>. 47(1) 074-081, 20.11.2022.
43. Guerranti R, Padoan A, Angeletti D, et al. Introduction to Big Data and Artificial Intelligence in laboratory medicine. *Biochim Clin* 2021;45:57-67.
44. Vidali M. I Big Data e la medicina di laboratorio. *Biochim Clin* 2021;45:13-4.
45. Pennestrì F, Banfi G. Artificial intelligence in laboratory medicine: fundamental ethical issues and normative key-points. *Clin Chem Lab Med* 2022 aop doi 10.1515/cclm-2022-0096.
46. Padoan A, Plebani M. Flowing through laboratory clinical data: the role of artificial intelligence and big data. *Clin Chem Lab Med* 2022 aop doi: 10.1515/cclm-2022-0653.
47. Vidali M, *Intelligenza Artificiale in Medicina: implicazioni e applicazioni, sfide e opportunità*. *Biochim Clin* 2024;48:XX-XX.
48. Carobene A, Padoan A, Cabitza F, Banfi G, Plebani M. Rising adoption of artificial intelligence in scientific publishing: evaluating the role, risks, and ethical implications in paper drafting and review process. *Clin Chem Lab Med* 2023;62:835-4.
49. [https://www.agendadigitale.eu/sicurezza/responsabilita-per-gli-errori-dell'ia-i-risvolti-pratici-e-giuridici/-](https://www.agendadigitale.eu/sicurezza/responsabilita-per-gli-errori-dell'ia-i-risvolti-pratici-e-giuridici/). 16.10.2023.
50. EUR-Lex - 52022PC0496R(01) - EN - EUR-Lex.2022.
51. Artificial Intelligence Act: deal on comprehensive rules for trustworthy AI. 09.12.2023.
52. disegno di legge per l'introduzione di disposizioni e la delega al Governo in materia di intelligenza artificiale. 23.04.2024.
53. <https://www.economymagazine.it/radiologia-il-ruolo-dell-intelligenza-artificiale/>
54. *Impatto dell'intelligenza artificiale in medicina preventiva*.
55. <https://www.nurse24.it/infermiere/tecnologie/impatto-intelligenza-artificiale-medicina-preventiva.html>
56. Charisis S, Rashid T, Liu H et al. Assessment of risk factors and clinical importance of enlarged perivascular spaces by whole-brain investigation in the multi-ethnic study of atherosclerosis. *JAMA Netw Open* 2023;6(4):e239196.
57. Artificial intelligence in the field of nursing. Attendance, administration and education implications <https://revista.saludcyt.ar/ojs/index.php/sct/article/view/88>.
58. *Avvenire* 22 settembre 2023.
59. *La riabilitazione fisiatrica ora si fa (anche) con l'Intelligenza artificiale: pazienti più consapevoli e coinvolti* | *Corriere.it* 09 febbraio 2024.
60. *Fit4MedRob: Fit for Medical Robotics* | *Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione*.
61. INAIL: "Come usiamo l'intelligenza artificiale a servizio della prevenzione" - *Agenda Digitale* 19 settembre 2023
62. <https://www.puntosicuro.it/robotica-intelligenza-artificiale-C-137/l-intelligenza-artificiale-a-supporto-della-sicurezza-sul-lavoro-AR-24517/>

**Conflitto di interessi:** gli Autori dichiarano di non avere conflitti di interesse.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).